

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
ESCUELA I.M.E – I.M. – T.M.

**DISEÑO DE UN CABEZAL UNIVERSAL PARA CENTROS  
DE MECANIZADO**

NOMBRE DEL AUTOR: MASSAIA RODRIGO IVAN  
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

NOMBRE DEL DIRECTOR DE TESIS: SEGURA RICARDO

CORDOBA  
2019



## **PROLOGO**

El presente Proyecto Integrador fue motivado por la idea de dar los primeros pasos en el desarrollo de un producto de mi parte; incrementar la flexibilidad de una máquina CNC 3 ejes que es la tecnología que se dispone en la mayoría de los talleres de la zona, tratando de hacerlo a un precio competente para el mercado local ya que se trata en su gran mayoría de “utillajes importados”. Estas ideas dieron comienzo al trabajo sin saber a qué resultados podría arribar y de la cantidad de detalles e idas y vueltas que tendría a lo largo del mismo. Conforme con los resultados alcanzados sin saber exactamente sobre el funcionamiento hasta no armar un prototipo y realizar las pruebas correspondientes, estimo el modelo de cabezal logrado sería de gran utilidad. Agradezco a los profesores de los Departamentos de Estructuras y Materiales de la facultad, al Ingeniero José Capello a los talleres que me abrieron las puertas para dar sus opiniones al respecto a mis compañeros y amigos por haber colaborado.

# Índice

	<b>Página</b>
<b>1. Estado del Arte</b>	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Reseña de Evolución Histórica.....	1
1.3. Centros de Mecanizado.....	4
1.3.1. Características de los centros de mecanizado.....	7
1.3.2. Algunas operaciones comunes en centros de mecanizado.....	7
1.4. Utillajes en centros de mecanizado y fresadoras.....	9
1.5. Ejes de la máquina herramienta.....	14
1.6. Tomar origen y posicionar la pieza en el centro de mecanizado.....	19
<b>2. Presentación del Cabezal Universal</b>	
2.1. Ventajas que presenta el modelo propuesto respecto a lo existente en el mercado...23	23
2.2. Modo de operar el cabezal.....	23
2.2.2. Puntos de lubricación.....	26
2.3. Características Técnicas.....	27
2.4. Desventajas del uso de cabezales.....	30
<b>3. Memoria de Cálculo</b>	
3.1. Esfuerzos en el fresado.....	31
3.2. Esfuerzos en el taladrado.....	35
3.3. Verificación dinámica.....	38
3.3.1 Evaluación del modelo propuesto.....	42
3.4. Transmisión de potencia mediante ejes.....	49
3.4.1. Determinación del diámetro del eje tractor.....	51
3.4.2. Determinación del diámetro del pin de seguridad.....	55
3.5. Eje porta fresa.....	60

3.6. Verificación de engranes.....	61
3.7. Verificación de rodamientos.....	64
3.7.1. Rodamientos ejes tractor.....	64
3.7.2. Rodamientos eje intermedio.....	67
3.7.3. Rodamiento eje fresa.....	68
3.8. Precarga en los bulones.....	72
<b>4. Breve análisis de los costos de producción del cabezal propuesto.....</b>	<b>76</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>77</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>78</b>
<b>7. Anexo.....</b>	<b>79</b>

# Lista de Figuras

## 1. Estado del Arte

Figura 1.1	Fresadora Convencional.....	2
Figura 1.2	Vista general Centro de Mecanizado a husillo vertical.....	4
Figura 1.3	Centro de mecanizado a husillo vertical sin el carenado.....	4
Figura 1.4	Distintas arquitecturas de los centros de mecanizado.....	5
Figura 1.5	Esquema mostrando un planeado.....	7
Figura 1.6	Esquemas mostrando un escuadrado.....	8
Figura 1.7	Esquemas mostrando un cajeadado y contorneado.....	8
Figura 1.8	Esquemas y centro de mecanizado mostrando ranurados.....	8
Figura 1.9	Esquemas mostrando perforado con fresa y con broca.....	9
Figura 1.10	Esquemas mostrando el mecanizado de una superficie.....	9
Figura 1.11	Cabezal para fresado vertical en una fresadora horizontal.....	10
Figura 1.12	Ustillajes fresadora.....	11
Figura 1.13	Cabezal para ranurado montado a una fresadora.....	11
Figura 1.14	Cabezal de ángulo recto para centro de mecanizado.....	12
Figura 1.15	Cabezal universal con limitación angular +/- 90°.....	12
Figura 1.16	Cabezal para fresado horizontal, centros de mecanizado de alta velocidad.....	13
Figura 1.17	Distintos tipos de cabezales para centros de mecanizado.....	13
Figura 1.18	Representación esquemática de los ejes de un centro de mecanizado.....	14
Figura 1.19	Esquema centro de mecanizado 3 ejes.....	15
Figura 1.20	Representación de un centro de mecanizado 4 ejes eje rotativo B.....	16
Figura 1.21	Representación de un centro de mecanizado 4 ejes eje rotativo A.....	16
Figura 1.22	Centro de mecanizado 5 ejes, ejes rotativos A y C en la mesa.....	17
Figura 1.23	Centro de mecanizado 5 ejes, ejes rotativos C y (A O B) según corresponda en el cabezal.....	17
Figura 1.24	Cabezal universal para centro de mecanizado trabajando en distintos ángulos.....	19
Figura 1.25	Tomando origen y alineando la pieza de Trabajo.....	20

## 2. Presentación del Cabezal Universal

Figura 2.1	Vistas del modelo propuesto de Cabezal Universal.....	21
Figura 2.2	Despiece del Cabezal con el nombre de sus partes principales.....	22
Figura 2.3	Pin de de seguridad y su traba.....	24
Figura 2.4	Sistema de sujeción de la herramienta de corte Collet ER-16.....	25
Figura 2.5	Muestra el movimiento de la parte inferior del cabezal 360°.....	25
Figura 2.6	Muestra el movimiento de la parte inferior del cabezal 360°.....	26
Figura 2.7	Puntos de ubicación de las Alemitas de engrase.....	27
Figura 2.8	Pinzas empleadas collect chuck ER 16.....	29

## 3. Memoria de Cálculo

Figura 3.1-	Información Fresa Kc 633M Kennametal.....	32
Figura 3.2 –	Nomenclatura básica del fresado.....	32
Figura 3.3 –	Componentes de las fuerzas de corte.....	33
Figura 3.4 –	Taladrado nomenclatura básica empleada.....	35
Figura 3.5 –	Ángulo entre el filo y el eje de la herramienta.....	36
Figura 3.6 –	Sección de la viruta.....	39
Figura 3.7 –	Posición radial del diente de una fresa.....	39
Figura 3.8 –	Variación de la sección de la viruta Sc.....	39
Figura 3.9 –	Sistema de ejes cartesianos según fresa.....	40
Figura 3.10 –	Variación de las componentes de la fuerza.....	40
Figura 3.11 –	Variación en el tiempo de la fuerza de corte.....	41
Figura 3.12 –	Desplazamiento del eje del porta fresa en un fresado.....	43
Figura 3.13 –	Desplazamiento del eje del porta fresa taladrado y fresado.....	44
Figura 3.14 –	Desplazamiento del eje del porta fresa en una operación fresado.....	45
Figura 3.15 –	Desplazamiento del eje porta fresa en fresado y taladrado.....	46
Figura 3.16 –	Desplazamiento del eje del porta fresa fresado y taladrado.....	47
Figura 3.17 –	Desplazamiento del eje del porta fresado y taladrado con grandes cargas.....	48
Figura 3.18 –	Cabezal Universal dimensiones principales y sistema de ejes coordenados.....	52

Figura 3.19 - Representació esquemáticas de los esfuerzos en el eje primera posición.....	52
Figura 3.20 – Desplazamientosndel eje tractor a aplicar la carga de compresión.....	53
Figura 3.21 - Representació esquemáticas de los esfuerzos en el eje segunda posición.....	54
Figura 3.22 - Representació esquemáticas de los esfuerzos en el Pin primera posición.....	55
Figura 3.23 – Representació esquemáticas de los esfuerzos en el Pin segunda posición.....	56
Figura 3.24- Representació esquemáticas de los esfuerzos en el Pin tercera posición.....	57
Figura 3.25 – Representació esquemáticas de los esfuerzos en el Pin cuarta posición.....	58
Figura 3.26 – Componentes de las reacciones hiperestáticas en el plano (Z,Y).....	60
Figura 3.27 – Componentes de las reacciones hiperestáticas en el plano (Z,X).....	60
Figura 3.28 – Engranaje cónico componentes cartesianas de la fuerza de contacto, nomenclatura....	61
Figura 3.29 – Ángulos de paso, fórmulas nomenclatura.....	62
Figura 4.1 - Esquema de costos.....	76

## Lista de Tablas

### 1. Estado del Arte

Tabal 1.1 - Comparativo equipos convencionales – CNC.....	3
Tabla 1.2 – Denominación de los centros según ejes.....	18

### 3. Memoria de Cálculo

Tabla 3.1 – Tabla de avances y velocidades de corte Kennametal.....	36
Tabla 3.2 – Simbología empleada en el taladrado.....	36
Tabla 3.3 – Tabla Fuerzas específicas de corte Kennametal.....	37
Tabla 3.4 – Código ASME factores combinados de choque y fatiga.....	49
Tabla 3.5 – Información sobre distintos tipos de acero SAE Handbook.....	50
Tabla – 3.6 Fuerza sobre el bulón y cupla de ajuste.....	74.



## **Dedicatoria**

A mis padres.

# 1. ESTADO DEL ARTE

## 1.1. Introducción

El presente Proyecto Integrador tiene como base tres pilares fundamentales ellos son: en primer lugar, la posibilidad de darle mayor flexibilidad a los centros de mecanizado de 3 ejes, tecnología con que se dispone en casi todos los talleres y pymes de Córdoba. En segundo lugar dar los primeros pasos del aula a la práctica y como tercero y último la idea de trabajar sobre un tema que culminase en un producto que pueda ser “producido” y luego comercializado.

Con el deseo de generar una pequeña industria, o actividad económica, y con ello puestos de trabajo que tanto se necesitan hoy en día en nuestro país.

El Proyecto consiste en el desarrollo de un cabezal universal para un centro de mecanizado. El dispositivo permite una vez colocado en la máquina y de forma manual ubicar la herramienta de corte en un ángulo deseado.

Está desarrollado para un centro de mecanizado de 3 ejes pero a demás puede ser utilizado en centros de mayor complejidad o cantidad de ejes tal como se verá en una explicación mucho más acabada junto a otras características en los siguientes párrafos.

## 1.2. Reseña de Evolución Histórica

La evolución constante en el mundo del mecanizado tiende a flexibilizar los procesos de diseño, mejorar las propiedades de las herramientas de corte y flexibilizar la máquina en sí.

Debido a los grandes volúmenes de producción, la necesidad de reducción de costos y la disminución de las tolerancias.

En el transcurrir de estos últimos años produjeron muchos cambios, en las máquinas herramientas. De utilizar equipos básicos convencionales, donde los movimientos de los ejes son llevados a cabo a través de manivelas accionadas por operarios calificados. Nombrando algunos a modo de ejemplo:

- Tornos.
- Taladros y.
- Fresadora.

De estos 3 equipos nombrados merece un pequeño “detenimiento” y “atención”, la fresadora. Puede verse en la siguiente figura junto al nombre de sus partes más importantes:

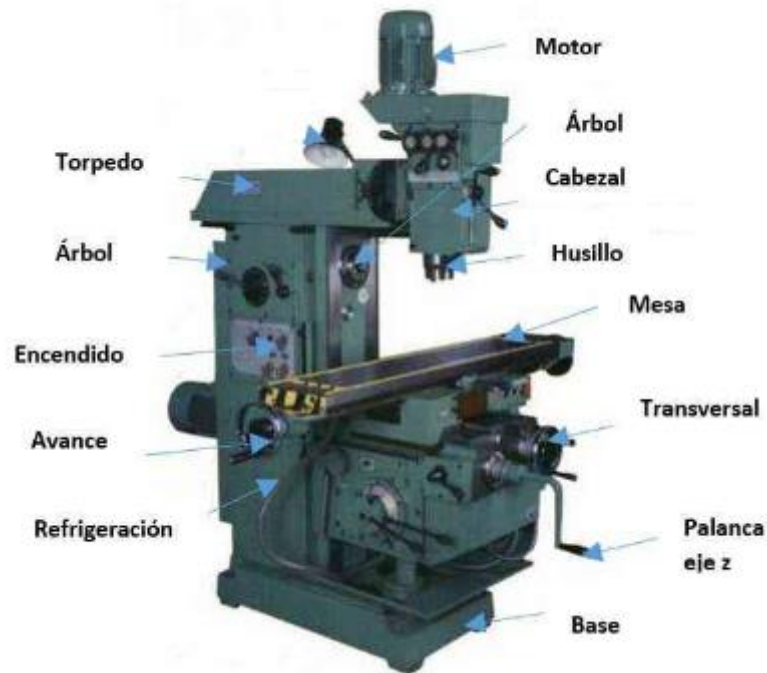


Figura 1.1 - Fresadora Convencional

Continuando con lo anterior se pasó de utilizar máquinas convencionales comandadas por manivela a utilizar máquinas comandadas por computadora o Control Numérico Computarizado CNC. Donde a diferencia de una máquina convencional la computadora, controla la posición y la velocidad de los motores que mueven los ejes de la máquina.

Entre estas máquinas podemos mencionar:

- Fresadora
- Centros de mecanizado
- Torno
- Rectificadora
- Máquina de corte por láser
- Prensa, brazo robotizado, etc.

Gracias a este nuevo concepto se consiguieron realizar por ejemplo movimientos que no se conseguían fácilmente en los equipos anteriores o convencionales como mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes (interpolación de ejes), así generar círculos, líneas diagonales y figuras tridimensionales complejas.

Las ventaja fundamental de utilizar la computadora en un equipo es la de obtener mayor cantidad de piezas, a una mayor calidad, en menor tiempo, con menor energía y asegurando una repetitividad en toda la producción alterada solo por factores como ser la pérdida de poder de corte de la herramienta o por fallas en la máquina.

Todas estas ventajas son dadas desde el punto de vista productivo.

Desde el punto de vista del operador la mayor ventaja es la de eliminar las tareas de operación directa sobre la máquina, quedando a su cargo la tarea de carga y descarga de la pieza y supervisión del trabajo realizado.

Algunos datos que muestran el mejoramiento de la producción con una maquinaria CNC:

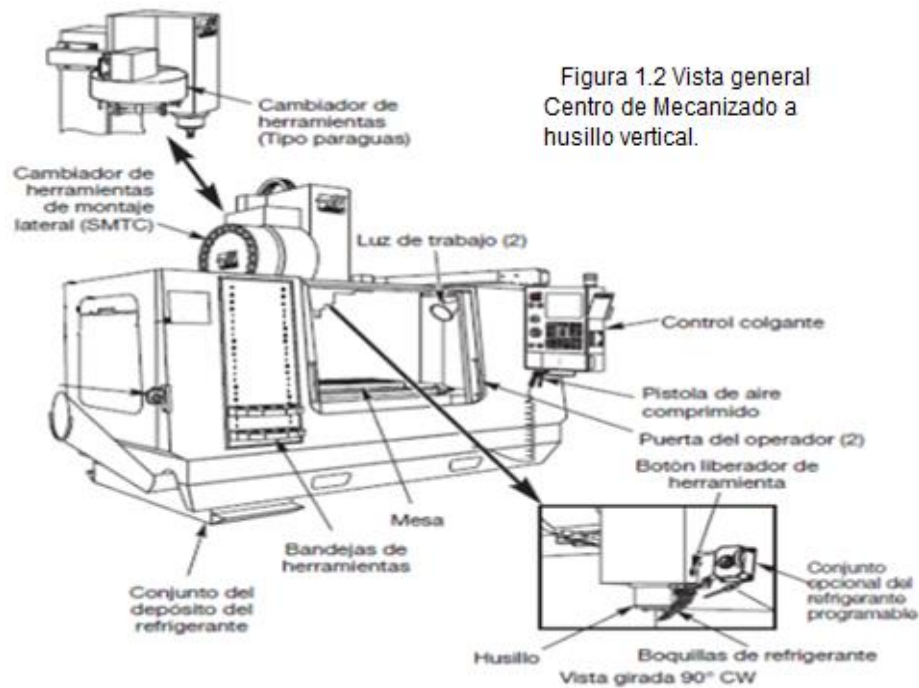
<b>Datos de producción realizada con "3" equipos convencionales</b>	<b>Datos de producción con maquinaria CNC producción realizada con "1" sola máquina</b>
Piezas producidas por semana en 3 turnos 300 piezas	Piezas producidas por semana en 3 turnos 700 piezas
Tiempo de fabricación 30-35 min por pieza	Tiempo de fabricación 4 min por pieza

Tabal 1.1 - Comparativo equipos convencionales - CNC

La llegada del CNC y la creación de los **CENTROS DE MECANIZADO**, provocaron una revolución en el mecanizado de piezas.

Estas máquinas son capaces en un ciclo de trabajo con un solo posicionamiento de la pieza realizarle múltiples tareas.

En la siguiente figura puede verse **"la apariencia externa de un centro de mecanizado"** de 3 ejes a husillo vertical. Resulta interesante mostrar el equipo con sus partes para los fines del presente proyecto integrador.



### 1.3. Centros de Mecanizado

Los **centro de mecanizado** son máquina con CNC de gran **automatización** capaces de realizar diversas operaciones de maquinado con una mínima intervención humana. Como ser fresar, alesar, agujerear y rosca. Puede observarse la **“apariencia interna del mismo”** sin el carenado exterior con el nombre de sus partes en la siguiente figura:



Figura 1.3 - Centro de mecanizado a husillo vertical sin el carenado exterior

Cabe hacer una aclaración entre los centros de mecanizado y las fresas modernas (fresa convencional con CNC incorporado). Hay diferencias que hacen al centro de mecanizado una máquina mucho más apropiada para la producción:

- **Cambio automático de herramienta:** cuando es necesario cambiar la herramienta de corte los centros están diseñados para intercambiar cortadores entre el husillo de la máquina y un tambor de almacenamiento de herramientas.
- **Posicionamiento automático de las partes de trabajo:** los centros de más de tres ejes uno de los ejes se suele diseñar como una mesa rotatoria para poner la pieza de trabajo en posición, formando un ángulo específico con respecto al husillo, permitiendo desempeñar el maquinado en cuatro lados de la pieza en una sola instalación.

Existen diferentes arquitecturas de los centros de mecanizado en cuanto a su configuración básica, posiciones del husillo, mesa y posibilidades de movimiento. El mismo puede ser vertical, horizontal, y universal puede verse esto y demás detalles en la siguiente figura 1.4:

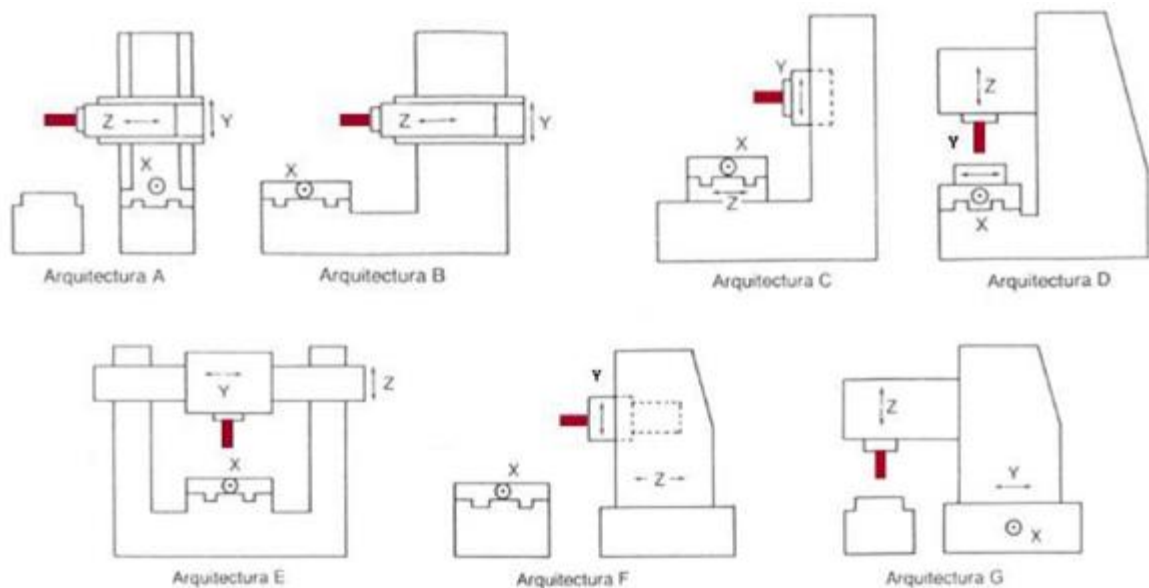


Figura 1.4 - Distintas arquitecturas de los centros de mecanizado

Los **centros de mecanizados con husillo vertical** son adecuados para realizar operaciones en superficies planas con cavidades hondas, maquinan normalmente la parte superior, por ejemplo en la fabricación de matrices y moldes.

En el maquinado vertical los empujes se dirigen hacia abajo, estos equipos cuentan con una gran rigidez y producen piezas con buena precisión dimensional. En general son mucho menos costosas que las de husillo horizontal. Se corresponden con las arquitecturas D, E, G, de la figura anterior. “Tipología de mayor interés a los fines del presente trabajo”.

Los **centros de mecanizados con husillo horizontal** son recomendados para su uso en grandes piezas y altas que requieran maquinarse en varias partes de su superficie. Normalmente partes de forma cúbica donde la herramienta de corte tiene acceso a los cuatro lados verticales del cubo.

Se corresponden con las arquitecturas A, B, C y F, de la figura anterior.

**Los centros de mecanizado universales** tienen cabezales de trabajo que pueden girar los ejes del husillo a cualquier ángulo entre la vertical y la horizontal.

**Es de mayor interés a los fines del presente los centros de mecanizado a husillo vertical de 3 ejes X, Y, Z. Ya que muchas de estas máquinas se encuentran hoy en los talleres y Pymes de Córdoba y son las que alentaron el desarrollo del cabezal.**

La manufactura de una pieza en un centro de mecanizado implica la combinación de tres tipos de software programas **CAD** (diseño asistido por computadora) y **CAM** (fabricación asistida por computadora) es un complemento casi obligado de toda máquina CNC:

- **CAD:** realiza el diseño de la pieza.
- **CAM:** calcula los desplazamientos de los ejes para el maquinado de la pieza agrega las velocidades de avance, velocidades de giros y diferentes herramientas de corte. La norma ISO 6983 describe el formato de instrucciones de un programa para máquinas de control numérico.
- Software de control (incluido con la máquina): recibe las instrucciones del CAM y ejecuta las órdenes de desplazamiento de las partes móviles de la fresadora de acuerdo con dichas instrucciones.

### 1.3.1 Características de los Centros de Mecanizado

- Los centros mecanizado CNC se puede utilizar las 24 horas al día, los 365 días al año.
- Se programan con un diseño que puede ser fabricado cientos de veces cada producto será exactamente el mismo.
- Menos personas expertas/entrenadas pueden operarlos a diferencia de los tornos, fresadoras, etc.
- Las máquinas CNC pueden ser programadas por un software de diseño que permita la fabricación de productos que no pueden ser realizados por máquinas manuales.
- El software de diseño permite al diseñador simular la fabricación de su idea. No hay necesidad de hacer un prototipo.
- Una vez programado, por lo general, se puede dejar trabajar por sí mismas, a veces solo necesitan reemplazar ocasionalmente las herramientas de corte.

### 1.3.2. Algunas operaciones comunes en centros de mecanizado

- **Planeado:** se mecanizan superficies para múltiples aplicaciones se suele realizar con fresado frontal. Puede emplearse para preparar apoyos, guías, superficies estancas, etc.



Figura 1.5 – Esquema y centro de mecanizado mostrando un planeado.



- **Escuadrado:** se trata de mecanizar una escuadra o ángulo recto, de forma que uno de los planos se obtiene con la parte frontal de la fresa y el otro con la parte periférica.

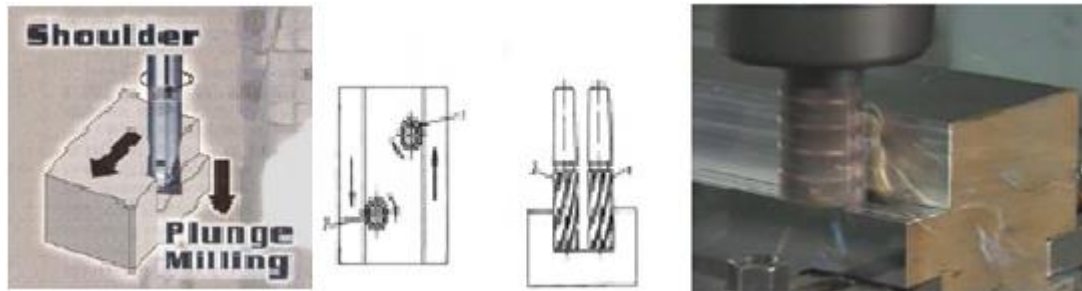


Figura 1.6 – Esquemas y centro de mecanizado mostrando un escuadrado.

- **Contorneado y Cajead:**

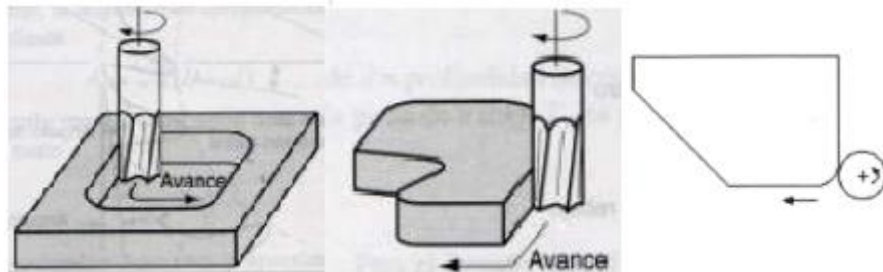


Figura 1.7 – Esquemas mostrando un cajead y contorneado.

Contorneado es similar al planeado periférico.

Cajead consiste en realizar un vaciado en una superficie de una pieza, según un contorno definido.

- **Ranurado:** operación combinada de fresado lateral y planeado.



Figura 1.8 – Esquemas y centro de mecanizado mostrando distintos ranurados.

- **Perforado:** hacer agujeros en forma total o parcial.



Figura 1.9 – Esquemas y centro de mecanizado mostrando un perforado con fresa y con broca.

- **Mecanizado de superficies complejas**



Figura 1.10 – Esquemas y centro de mecanizado mostrando el mecanizado de una superficie.

Se emplean para fabricar moldes, matrices y troqueles con superficies complejas. Las fresas suelen tener punta esférica que permite realizar el mecanizado en todas las direcciones.

#### 1.4. Utillajes en Centros de Mecanizado y Fresadoras

Tanto las **antiguas fresadoras** convencionales hasta los **nuevos centros de mecanizado** utilizan accesorios / utillajes. Entre algunos de ellos se encuentran los cabezales.

Estos utillajes nos permiten llevar a cabo operaciones que sin ellos la máquina sola no podría y/o en algunos casos facilitar la realización de dicha operación.

Es decir desde todo punto de vista el objetivo es flexibilizar la máquina.

Para ambos equipos, centro de mecanizado o fresadora convencional existen tres tipos de utillajes:

- **Utillajes especiales** que se sujetan al husillo y brindan la posibilidad de fresado vertical fijo o de darle ángulo a la fresa, universal. Además si se desea tienen la posibilidad de incrementar velocidad la herramienta de corte, etc. Están diseñados para incrementar la flexibilidad de la máquina.
- **Utillajes** diseñados **para sujetar cortadores** o fresas, pueden ser árboles, boquillas y adaptadores.
- **Utillajes** diseñados **para sujetar la pieza de trabajo** puede ser prensa, mesa giratoria, cabezal divisor (aparato divisor simple figura 1.12), etc.

Las siguientes imágenes muestran algunos ejemplos de utillajes de la “**Fresadora convencional**” que se consideran importantes:

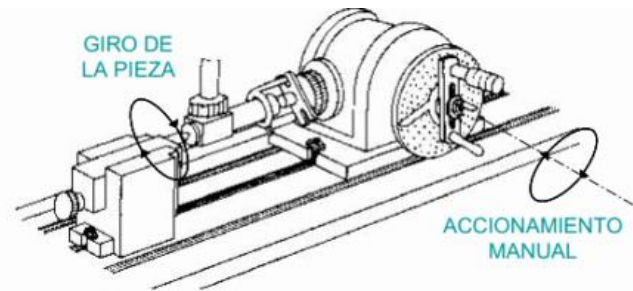
- Cabezal que brinda la posibilidad de fresado vertical y además ángulos de más menos  $45^\circ$  respecto a la vertical en una fresadora horizontal:



Figura 1.11 - Cabezal para fresado vertical en una fresadora horizontal montado al “husillo” de la máquina.

- Utillajes que dan la posibilidad de girar la pieza de trabajo y trabajar en distintas caras de la misma:

## APARATO DIVISOR SIMPLE



## MESA GIRATORIA



Figura 1.12 - Utillajes fresadora, Cabezal divisor y mesa giratoria ambos montados a la “mesa de trabajo” de la fresadora

- Por último el cabezal para ranurar convierte el movimiento giratorio del husillo en movimiento recíprocamente para el corte de cuñeros, ranura, estrías, plantillas y superficies de forma irregular.

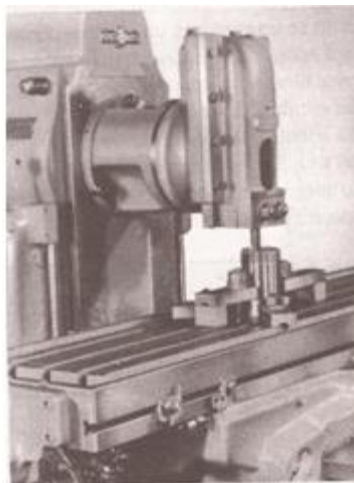


Figura 1.13 - Cabezal para ranurado montado al husillo de la fresadora.

En el caso de los “**Centros de Mecanizado**” existen una gran variedad de utillajes entre los más interesantes podemos nombrar los siguientes:

- Cabezal de ángulo recto permite realizar operaciones a  $90^\circ$  respecto al eje del husillo con fresas, brocas dichas operaciones pueden ser agujeros, cavidades, etc.:



Figura 1.14 - Cabezal de ángulo recto para centro de mecanizado montado al husillo de una máquina.

- Cabezal universal permite realizar diversas operaciones colocando el eje de la fresa en distintos ángulos respecto al husillo, regulable acorde a necesidad.

En el caso del cabezal de la figura 1.16 más menos  $90^\circ$  respecto al eje del husillo de la máquina.

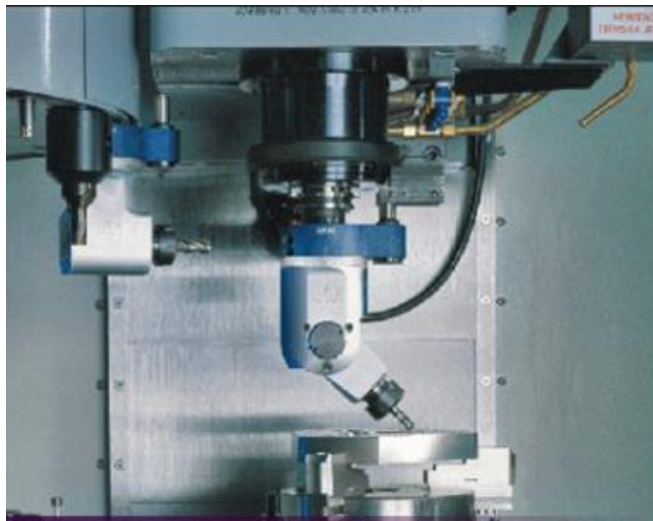


Figura 1.15 - Cabezal universal para centro de mecanizado montado al husillo de una máquina.

- Cabezal para implementar el fresado horizontal con fresas de disco por ejemplo.



Figura 1.16 - Cabezal para fresado horizontal, centros de mecanizado de alta velocidad.

- La siguiente figura muestra distintos utillajes para centro de mecanizado para distintos fines.

En el caso de los dos primeros hacer trabajos en el interior de pequeños diámetros.

El tercero se emplea para fresas de disco con la finalidad de fresar ranuras.



Figura 1.17 - Distintos tipos de cabezales para centros de mecanizado.

## 1.5. Ejes de la Máquina - Herramienta

Antes de comenzar el tema cabe hacer una aclaración a cerca de los ejes. Llamamos **Eje Real** a la posibilidad de movimiento que tiene la máquina en una dirección, llamamos **Ejes Interpolables** a los que se pueden mover en simultáneo de a dos o más (dependen de cada máquina en particular) y llamamos **Pseudo Eje** a la posibilidad de movimiento que se le agrega a la máquina generalmente con algún utillaje de accionamiento manual y nos ayuda o nos simplifica la tarea a la hora de mecanizar ya que “**simula**” la existencia de un eje mas.

El siguiente “esquema” de una fresa de cabezal vertical acompañado de la norma DIN 66217, muestra la **nomenclatura y orientación** de los diferentes tipos de **ejes CNC**:

- **X-Y-Z Ejes principales** de la máquina. Los ejes X-Y forman el plano de trabajo principal, mientras que el eje Z es paralelo al eje principal de la máquina y perpendicular al plano XY.
- **U-V-W Ejes auxiliares**, paralelos a X-Y-Z respectivamente.
- **A-B-C Ejes rotativos**, sobre los ejes X-Y-Z respectivamente.

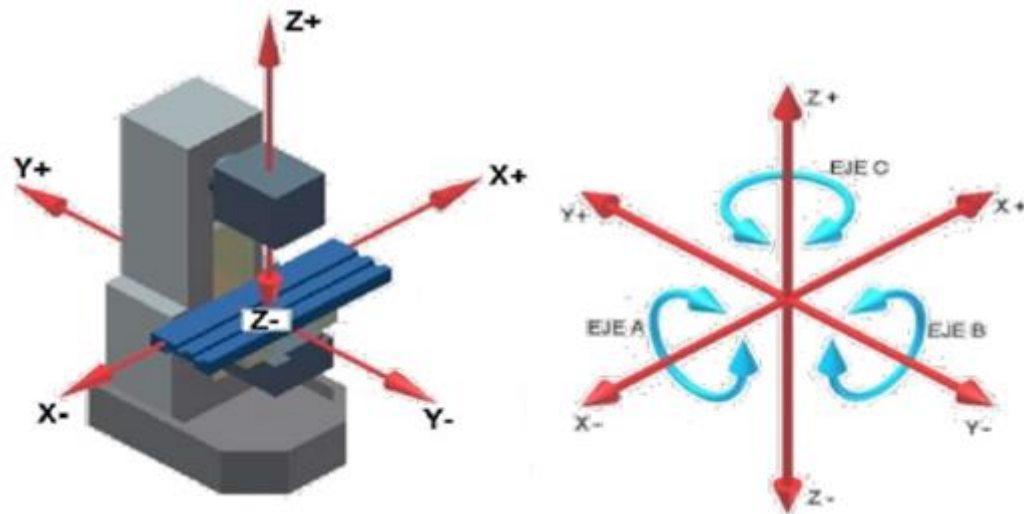


Figura 1.18 - Representación esquemática de los ejes de un centro de mecanizado.

Las máquinas que tienen posibilidades de movimiento según estos ejes figura 1.5 se denominan cartesianas. Equipos que mueven el cabezal o la mesa en direcciones ortogonales,

**ejes X, Y, Z** y pueden posicionarse con cierta precisión en cualquier punto del plano al que se pueda acceder.

Dependiendo de cómo esté configurada la máquina-herramienta y las posibilidades de movimiento que tenga el **cabezal o la mesa**, determinarán la cantidad de ejes **reales** que tiene.

Así un centro de mecanizado que dispone de movimiento en los ejes X, Y, Z posee 3 ejes **reales**. Pudiendo dicho centro mecanizar en los planos (X, Y) y paralelos.

A continuación vemos algunos ejemplos de distintos números de ejes y configuraciones más comunes empleadas en centros de mecanizado:

El **primer ejemplo** es una representación esquemática de los centros de mecanizado de 3 ejes (X, Y, Z) de cabezal vertical.

A partir del cual se inspiró el desarrollo el cabezal universal, lo vemos en la siguiente figura con orientaciones y ejes:

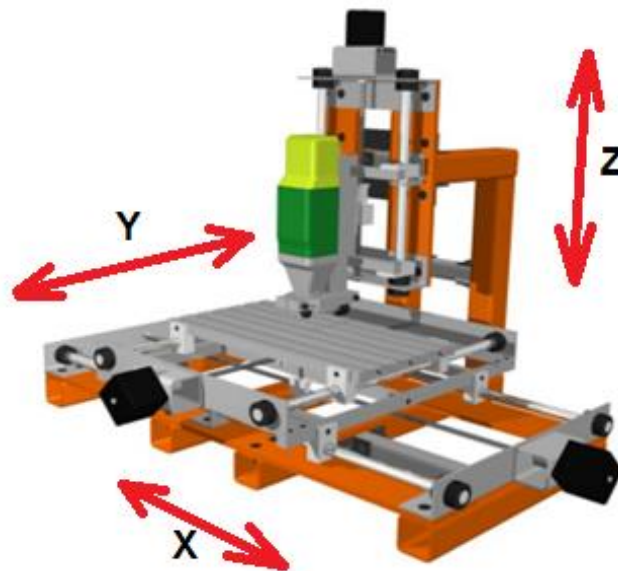


Figura 1.19 - Esquema centro de mecanizado 3 ejes husillo vertical, con orientación de sus ejes.

Los centros de mecanizado de 4 ejes por lo general disponen de las tres posibilidades anteriores en X, Y, Z y una más de giro. Esta última posibilidad puede estar en la mesa o en el cabezal, dependiendo de la configuración de la máquina como puede visualizarse en las siguientes figuras 1.7 y 1.8.



El primer caso sería el eje B según nomenclatura y en el segundo eje A:

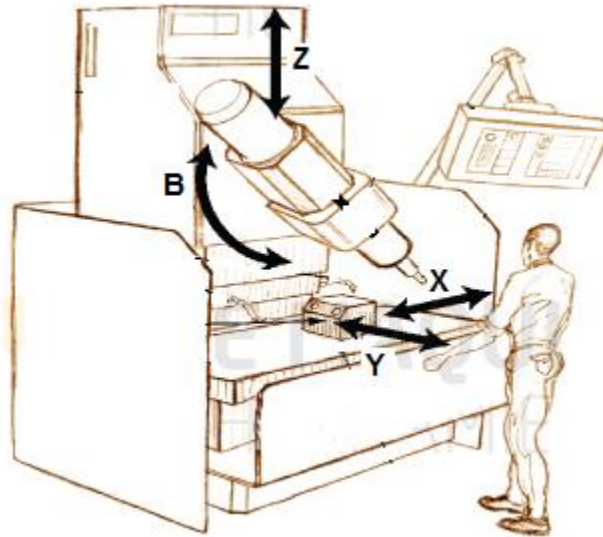


Figura 1.20 - Representación de un centro de mecanizado 4 ejes con posibilidad de movimiento en el eje rotativo B.

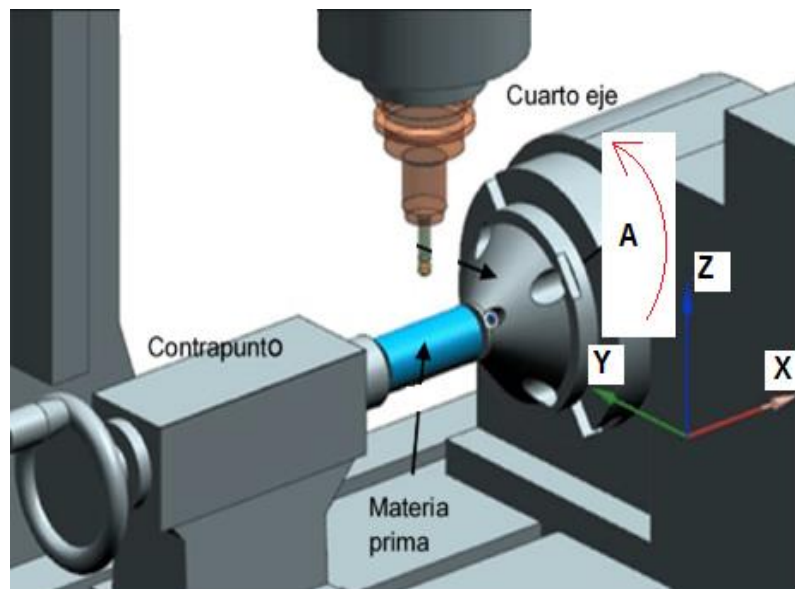


Figura 1.21 - Representación de un centro de mecanizado 4 ejes con posibilidad de movimiento en el eje rotativo A.

Como tercer y último ejemplo vemos la máquina de 5 ejes tiene posibilidad de movimiento según los ejes cartesianos principales más dos de giro. Estos giros pueden ser la mesa giratoria o fijar la mesa y dotar al cabezal de movimiento.

Las dos opciones más comunes, pueden visualizarse en las siguientes figuras:

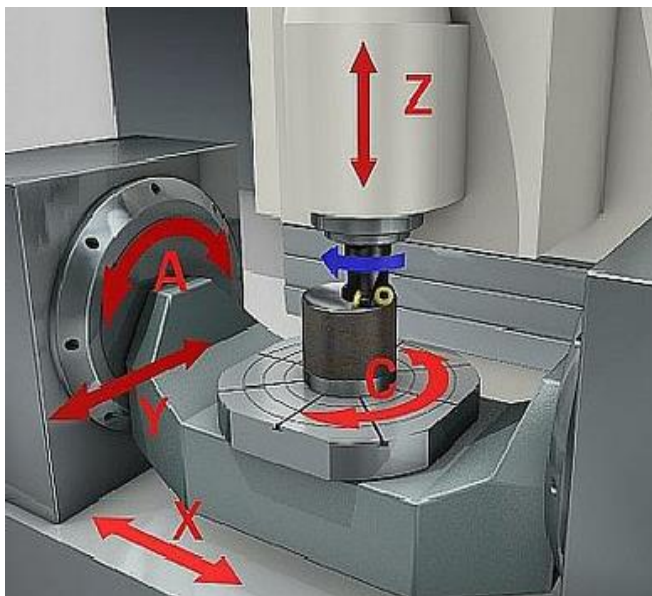


Figura 1.22 - Representación de un centro de mecanizado 5 ejes con posibilidad de movimiento en los ejes rotativos A y C en la mesa.



Figura 1.23 - Representación de un centro de mecanizado 5 ejes con posibilidad de movimiento en los ejes rotativos C y (A O B) según corresponda en el cabezal.

Como aclaración importante de la cantidad de ejes reales que dispone una máquina no todos son interpolables, con el devenir del tiempo y el avance de la tecnología hicieron que se pueda trabajar cada vez más con mayor cantidad de ejes en simultáneo.

La siguiente tabla muestra las distintas denominaciones según la combinación cantidad de ejes reales, cantidad de ejes interpolados:

Ejes Reales	Ejes Interpolados	Denominación
2	2	2 ejes
3	2	2 ejes y medio
3	3	3 ejes
4	3	3 ejes y medio
4	4	4 ejes
5	4	4 ejes y medio
5	5	5 ejes

Tabla 1.2 – Denominación de los centros según ejes.

Ejemplos:

**Fresadora de 2 ejes:** solo realiza movimientos en los ejes que conforman el plano frontal, el eje z es el encargado de realizar el movimiento longitudinal y el eje x es el que realiza el movimiento transversal.

**Fresadora de 2.5 ejes:** la fresadora realiza desplazamiento longitudinal eje Z y transversal eje X, pero usa un **tercer eje si la “máquina está parada”**, este mueve a la herramienta perpendicular a los otros dos ejes.

**Fresadora de 3 ejes:** la fresa puede moverse en las tres direcciones del espacio X Y Z.

**Fresadora de 5 ejes:** esta máquina permite mover la bancada o el husillo en dos direcciones más. Además de mover la fresa en los tres ejes del espacio X Y Z.

Las explicaciones detalladas anteriormente sirven para introducir ahora el tema de los **Cabezales Universales** para centros de mecanizado y saber dónde estamos parados. Estos

cabezales dan la posibilidad agregar “**pseudos ejes**” permitiendo de “**forma manual**” incrementar las direcciones de movimiento de la herramienta de corte.

Los Cabezales Universales empleados en máquinas tres ejes convencionales agrega dos “**pseudos ejes**” ejes C y (A o B) según corresponda de acuerdo a la posición en que se encuentre operando “**ejes manuales**”.

Permitiendo a demás de trabajar el plano (X, Y) correspondiente a la mesa de trabajo y paralelos, propios de este tipo de centro de mecanizado se agrega la posibilidad de los planos (X, Y) (X, Z) (Y, Z), paralelos y oblicuos dándole mayor flexibilidad a la máquina. Ver nomenclatura figura 1.5.

Se denominan “pseudos ejes” los que agrega el cabezal ya que al ser manuales el CNC no tiene ninguna posibilidad de controlarlos y obvio no son interpolables como los otros ejes. Igualmente son dispositivos de gran utilidad ya que amplían mucho las posibilidades de la máquina sin realizar grandes inversiones.

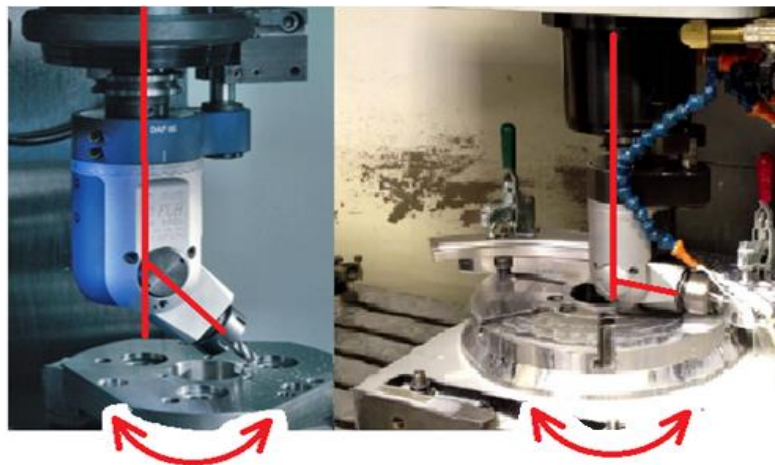


Figura 1.24 - Cabezal universal para centro de mecanizado trabajando en distintos ángulos, montado al husillo de la máquina.

### 1.6. Tomar origen y posicionar la pieza en el centro de mecanizado

Cabe destacar y merece unas líneas el hecho de que en absolutamente todos los casos cada vez que se realiza un nuevo trabajo en el centro de mecanizado se realizan dos operaciones denominadas en la jerga de taller, **tomar el origen** y **alinear la pieza**. Una vez alineada la pieza de trabajo se ancla mediante distintos métodos a la mesa del centro de mecanizado para comenzar las operaciones de arranque de viruta correspondientes.

- La primera consiste en fijar el origen del sistema coordinado en un punto del espacio circundante a la pieza misma posición que se eligió en el software a la hora de elaborar el programa.

Para lo cual se coloca una herramienta especial en el husillo, puede verse en la siguiente figura 1.25, y una vez determinado dicho punto mediante un comando queda grabado en la memoria del centro.

- La segunda consiste en **alinearse la pieza** posicionar la pieza en forma alineada relativa al husillo y a la mesa del centro de mecanizado.

Se lleva a cabo colocando un palpador en el husillo y realizando movimientos de la mesa del centro tratando de verificar el paralelismo y perpendicularidad de la pieza respecto a la mesa y al husillo, en el caso de estar alineada la aguja del palpador queda quieta.



Figura 1.25 – Tomando origen primera imagen y alineando la pieza de Trabajo segunda.

Dichas tareas se realizan cada vez que hay que cambiar la pieza de posición y demanda largos intervalos de tiempo.

Ese tiempo se ve incrementado si al cambiar de posición la pieza, cambia el sistema de sujeción, de la misma a la mesa del centro. Sumado a la limpieza de la superficie de apoyo ya sea por viruta o por oxidación a causa del líquido refrigerante; y/o casos de piezas de gran porte.

Lo que evita el cabezal universal es mover la pieza y dota de movimiento a la herramienta de corte.

## 2. PRESENTACIÓN DEL CABEZAL UNIVERSAL

En el presente capítulo se realiza la presentación del cabezal universal diseñado, las figuras 2.1 y 2.2 muestran el modelo final alcanzado y un despiece junto al nombre de sus partes principales, a demás puede visualizarse [ANEXO primera pagina] el plano de conjunto del cabezal completo.

La utilización de este cabezal en los centros de mecanizado brinda la posibilidad de realizar las operaciones anteriormente descriptas fresado, perforado, cajeado, contorneado, planeado, ranurado, escuadrado, radios etc.

Dándole al operario la oportunidad de realizarlas en distintos planos moviendo la herramienta de corte y manteniendo la pieza de trabajo fija a la mesa del centro, tal como fue posicionada.

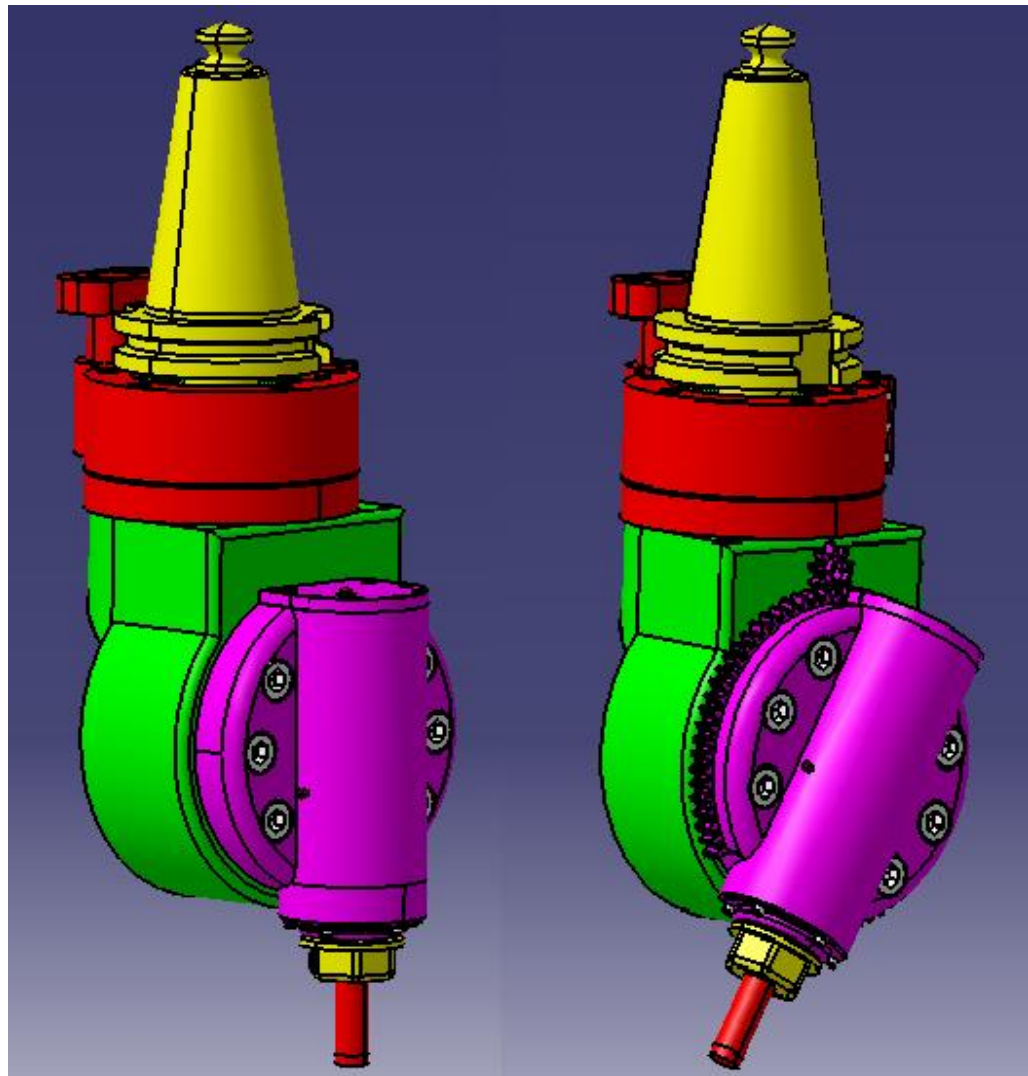


Figura 2.1 – Vistas de las dos versiones del modelo de Cabezal Universal propuesto.

Existen dos modelos propuestos ya que con el agregado del engranaje de regulación fina se incrementan los costos de fabricación, dicha regulación se puede efectuar de forma manual, primer modelo.

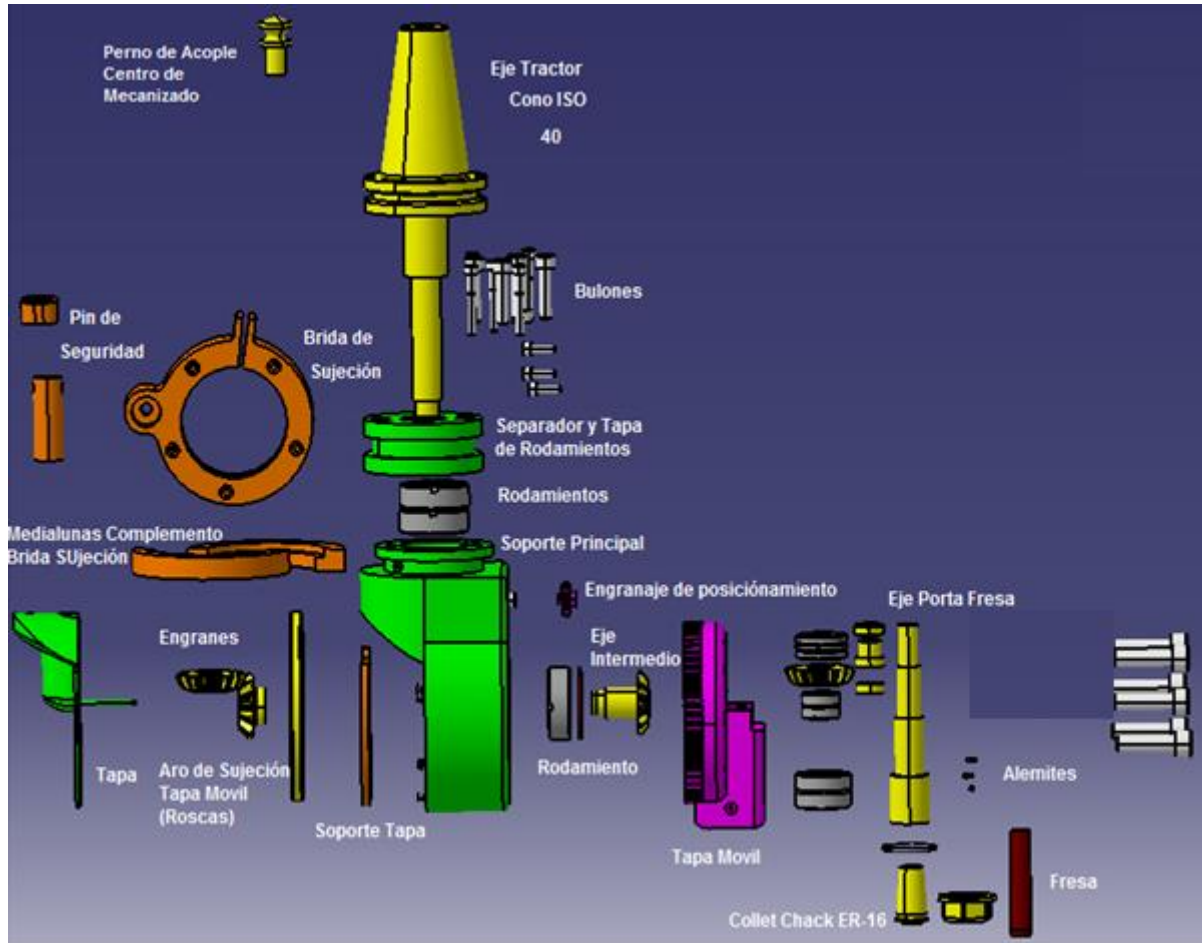


Figura 2.2 – Despiece del Cabezal con el nombre de sus partes principales.

El Cabezal puede ser acoplado al husillo de la máquina de forma manual o a través del cambiador de herramientas. Una vez acoplado al husillo requiere de una parada del programa para colocar la traba en el pin de seguridad, como cualquier cabezal de este tipo.

Por lo que suele ser común colocarlo de forma manual.

El Cabezal Universal tiene beneficios que hace enfrentar a los usuarios de los centros de mecanizado nuevos desafíos especialmente para los que tienen una máquina de 3 ejes y **no justifican** la compra de una máquina de 5 ejes. Y a los que tienen máquinas de cinco o más ejes ya que también lo pueden emplear.

Constituye una forma de aumentar la capacidad de un centro de mecanizado. Proporcionan al usuario la posibilidad de colocar la herramienta de corte como si realmente tuvieran el husillo articulado, en el caso de los centros de 3 ejes a un menor costo que el que sería adquirir la máquina de 5 ejes. Permitiendo realizar operaciones horizontales o angulares sin requerir que la pieza de trabajo sea “repositorada”.

Sobre todo en piezas grandes, como troqueles moldes y piezas para la industria, que tienen numerosas características internas y el trabajo de mecanizado es lo suficientemente extenso.

### **2.1. Ventajas que presenta el modelo propuesto respecto a los existentes en el mercado**

- El modelo de cabezal propuesto respecto a los existentes en el mercado, presenta facilidad de regulación, posee un engranaje de regulación de posición del eje porta fresa y por ende de la herramienta de corte, donde acoplado una llave Allen de 6mm girándola y la ayuda de un palpador se puede alcanzar la posición deseada por el operario.

Por otro lado extrayendo el engranaje de regulación tiene la posibilidad de rotar 360° el eje porta fresa. No es de mucha utilidad pero le agrega versatilidad al dispositivo.

- A demás la parte inferior del cabezal puede rotar alrededor del eje del husillo 360°.
- Posee gran rigidez.
- Es esbelto.
- Modelo muy sencillo.
- Muy fácil de manipular.
- Puede ser fabricado con el herramental disponible en un taller de mecanizado sin inconveniente.

### **2.2. Modo de operar el Cabezal Universal**

- El cabezal se coloca por lo dicho anteriormente en la mayoría de los casos de forma manual. Posterior a haber abulonado la parte superior del pin de seguridad al husillo del centro de mecanizado.



Una vez abulonada la parte superior del pin e insertado el cono ISO 40 en el husillo de la máquina se coloca la traba del pin de seguridad tal como se ve en la figura 2.3 y está listo para operar.

Por lo general es una cualidad que se busca en un portaherramientas montaje y desmontaje sencillo.

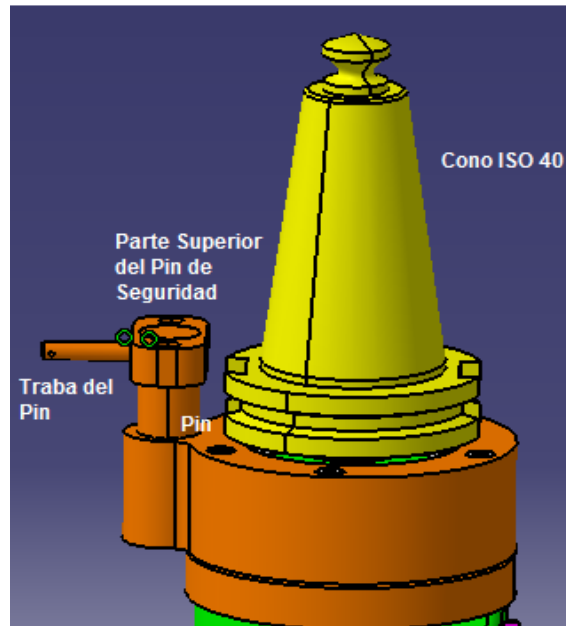


Figura 2.3 – Pin de de seguridad y su traba.

El pin de seguridad además actúa como un punto de apoyo. En el caso de ser insuficiente para mantener el cabezal en su lugar cuando las condiciones de corte son severas, para esas aplicaciones suelen presentarse sistemas de soporte de tres puntos, (tres pines de seguridad) a 120°. Cabe aclarar que el pin de seguridad no es un modelo propuesto sino que distintos aparatos que se acoplan a husillos de máquinas de este tipo emplean esta misma metodología.

- En lo que respecta al cambio de herramienta de corte fresas, brocas etc. El eje porta fresa emplea un sistema de pinzas ER muy utilizado en la gran mayoría de los portaherramientas para centro de mecanizado, puede visualizarse en la figura 2.4 y no merece especial atención ya que la operación se realiza de la misma forma en todos los casos y no es algo muy novedoso. Aflojando la tuerca Collet Chuck está liberada la herramienta, se puede cambiar la misma y/o en caso de ser necesario se cambia la pinza y la herramienta.

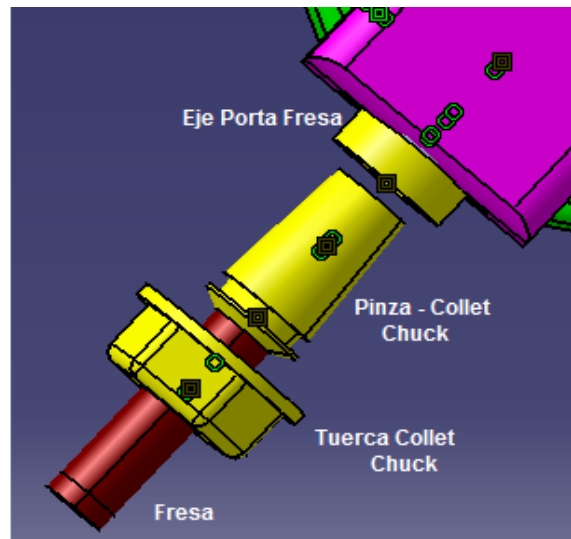


Figura 2.4 – muestra el sistema de sujeción de la herramienta de corte Collet ER-16.

- Para poder llevar la fresa a la **posición de trabajo deseada** el operario tiene la posibilidad de girar 360° de forma manual la parte inferior del cabezal alrededor del eje Z, como puede verse en la siguiente figura, y según ejes coordenados de la figura 2.1. Esto se realiza aflojando los 8 tornillos Allen con una llave Allen de 4mm, 5 ubicados en la parte superior de la brida y 3 de costado le dan la posibilidad de girar hasta la posición deseada y luego ajustar todo nuevamente con una cupla de 3 Nm según sección [3.8].

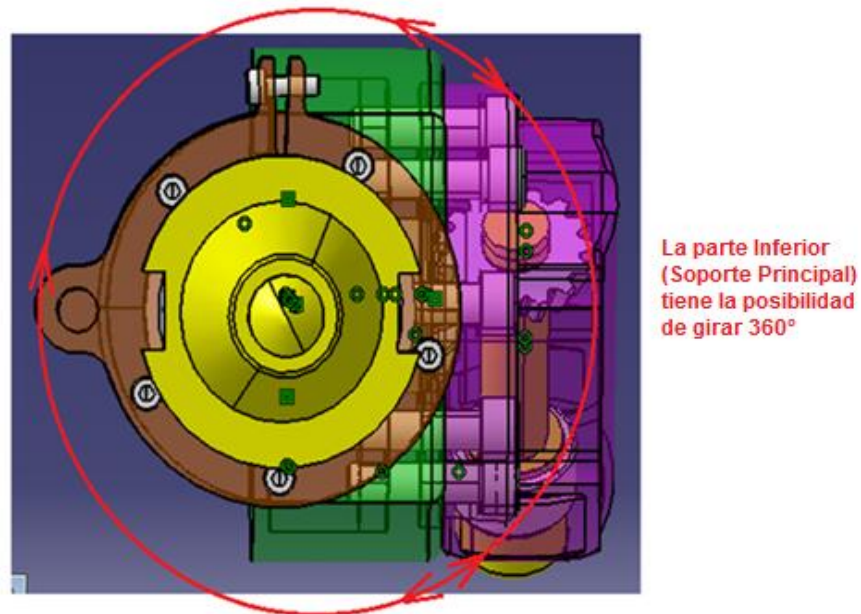


Figura 2.5 – muestra el movimiento de la parte inferior del cabezal 360°

Otra de las posibilidades de movimiento que tiene el cabezal es aflojando los 6 tornillos Allen con una llave Allen de 6mm como puede verse en la siguiente figura. Da la posibilidad al eje porta fresa y tapa móvil (color violeta) de girar 360° en este caso alrededor de un eje que puede ser X o Y o algún eje intermedio dependiendo de cómo haya quedado alrededor de Z.

Cupla de ajuste de los 6 tornillos Allen 21.5 Nm según sección [3.8].

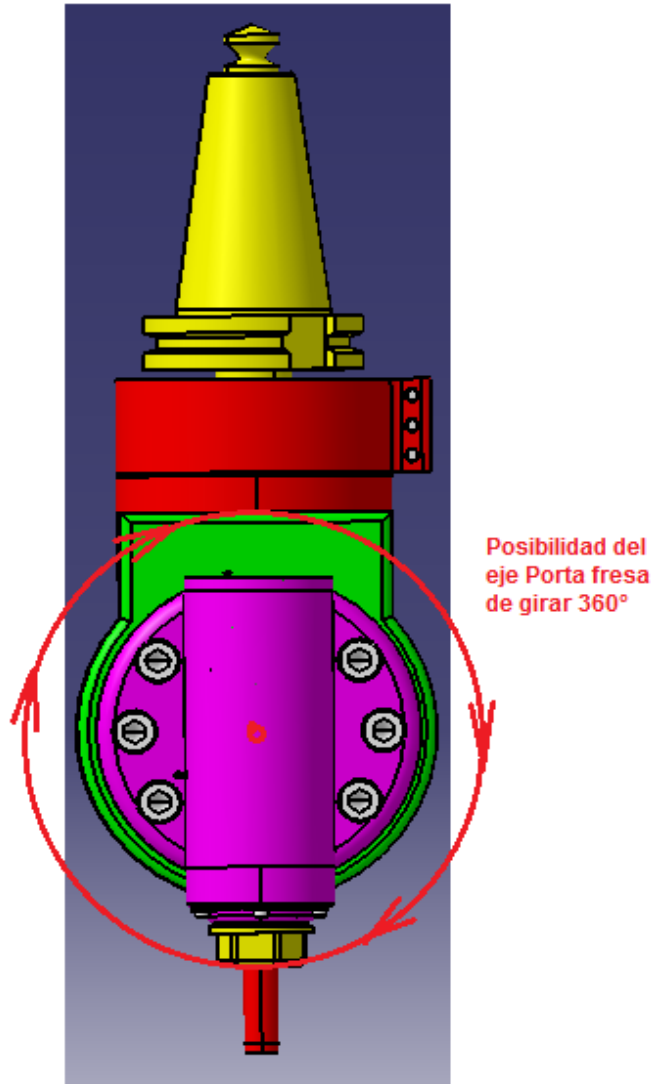


Figura 2.6 – muestra el movimiento de la parte inferior del cabezal 360°

### 2.2.2. Puntos de Lubricación

El cabezal posee 6 rodamientos los cuales se aconseja lubricar con grasa SKF LGMT de uso general.

El lubricante se aplica antes de cada utilización en pequeñas proporciones con una grasera en los puntos donde se encuentran las alemitas.

Pueden visualizarse en la siguiente imagen dichos puntos de engrase.

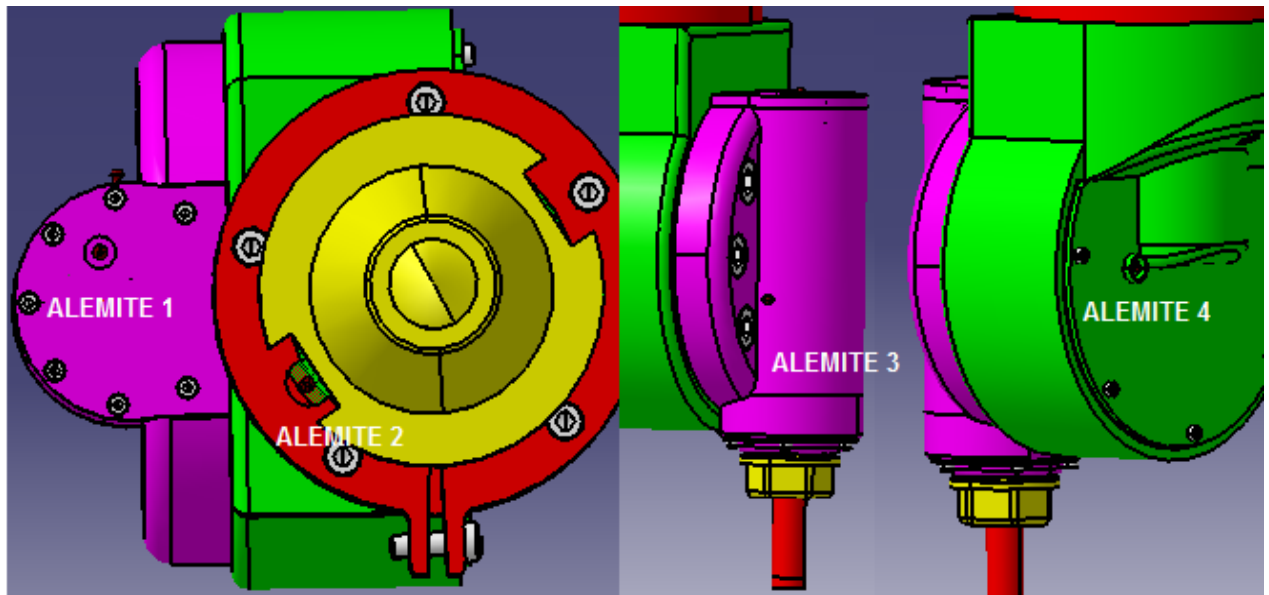


Figura 2.7 – Puntos de ubicación de las Alemitas de engrase.

### 2.3. Características Técnicas

- Tiene un **acoplamiento** al centro de mecanizado **cónico ISO**. Estos acoplamientos están normalizados y pueden ser (ANSI/ASME-ISO-CAT-BT-DIN).

El cono ISO es el tipo de ahusamiento que tienen muchos portaherramientas. El grado de conicidad que corresponde con un ángulo de generatriz de  $8^{\circ}17'50''$ , para todos los conos ISO es igual.

Las dimensiones de los conos ISO están normalizadas y se denominan por el diámetro exterior del cono como: ISO 30, 40 y 50.

**El CONO empleado en el cabezal en este caso es ISO 40.**

El cono ISO tiene unos anclajes que se acoplan a la máquina para evitar el patinando cuando se producen grandes esfuerzos de corte.

**Ventajas** que posee:

1. Montaje y desmontaje de la máquina sencillo.
2. Tener perfecto alineado con el eje del husillo de la máquina.
3. Permitir el cambio automático.

**Desventajas:**

Los conos porta herramientas tipo ISO establecen su posición en el husillo de la máquina cuando un actuador (hidráulico o neumático) tira del "Tirador" [ver plano conjunto Anexo] produciéndose el asiento del cono dentro del husillo de la máquina.

Si la velocidad de giro aumenta, la fuerza centrífuga también, los conos ISO, tienden a introducirse más dentro del husillo debido a que el actuador sigue tirando (existen uniones como la HSK sin tirador y con inercias muy inferiores), esto puede desencadenar 2 cosas:

- Imprecisión en el mecanizado debido al desplazamiento que ha sufrido la herramienta respecto al husillo.
- Atoramiento del cono en el caso de que el husillo frene de forma brusca y recupere sus dimensiones.

Cabe aclarar que el cono ISO es apropiado para mecanizados de baja velocidad debido a la menor rigidez de esta unión comparada con otro tipo de uniones como la HSK nombradas anteriormente, esto hace caer la frecuencia natural de vibración y obliga a limitar los parámetros de mecanizado, tendiendo a ser menos agresivos.

El mercado donde se apunta ofrecer el cabezal utiliza en su gran mayoría este tipo de conos ISO de acoplamiento, motivo por el que se lo escogió para el cabezal.

- El **montaje de las fresas** es un factor de suma importancia a la hora de obtener piezas con la suficiente precisión dimensional y calidad superficial.

El cabezal emplea un **sistema de pinza "ER, estandarizado DIN 6499**, es el sistema de sujeción muy utilizado en el mundo.

Las series estándar son:

ER-8, ER-11, ER-16, ER-20, ER-25, ER-32, ER-40 y ER-50.

### **La serie empleada en el cabezal es ER 16.**

El número de serie es el diámetro de apertura del receptáculo cónico, en milímetros.

Las pinzas ER se contraen para sujetar piezas de hasta 1 mm más pequeñas que el tamaño interno nominal de la pinza en la mayoría de las series, hasta 2 mm en casos especiales. Están disponibles en pasos de 1 mm o 0,5 mm.

Por lo tanto, una pinza determinada tiene cualquier diámetro que vaya desde su tamaño nominal hasta su tamaño plegado de 1 mm o menos, y un conjunto completo de pinzas ER en pasos nominales de 1 mm se adapta a cualquier diámetro cilíndrico dentro de la capacidad de la serie.

Con un portaherramientas ER a pesar de ser un estándar métrico, están disponibles en tamaños internos en pulgada.

La geometría de resorte de la pinza es adecuada solo para piezas cilíndricas, y no se aplica a formas cuadradas o hexagonales.

### **ER “collect chuck” para uso en máquinas CNC**

MODELO: ER16

MATERIAL: acero AISI 1065

RUN-OUT TOLERANCE: 0.015mm

RANGO DE PINZAS: 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.5mm, 3mm, 3.175mm (1/8 inch), 3.5mm, 4mm, 4.5mm, 5mm, 5.5mm, 6mm, 7mm, 7.5mm, 8mm, 8.5mm, 9mm, 9.5mm, 10mm.



Figura 2.8 – Pinzas empleadas collect chuck ER 16.

(El nombre "ER" provino de un collar "E" existente (que era una serie de letras de nombres) y anexó "R" para el nombre del creador).

- Capacidad de transmisión de potencia del cabezal: 2,9 Kw.

- Rpm, cálculo de vida útil de los elementos 5000. Rpm máximas 6000 Puede alcanzar mayor número de rpm pero no se recomienda su uso en operaciones de alta velocidad.
- Torque Máximo 10 Nm.
- Relación de transmisión 1:1.
- Terminación con carga alta de viruta 0.01 mm. Para mejorar la terminación se recomienda bajar la carga de viruta.
- Peso: 5Kg.

#### **2.4. Desventajas del uso de Cabezales Universales**

El principal problema con el uso de un cabezal angular es la creación de un programa para manejar los movimientos punto a punto de 3 ejes que emularán los ciclos.

Los sistemas CAM pueden hacer esto, pero en general se considera que es una funcionalidad de 5 ejes y requiere un trabajo significativo para un post procesador que generará la salida adecuada [ANEXO pag. 82].

Primero es probable que se necesite un nuevo postprocesador [ANEXO pag. 82].

En segundo lugar, deberá desarrollar una estrategia de programación para acomodar automáticamente las herramientas de diferentes longitudes que se usarán en el cabezal angular.

Tercero encontrará que el sondeo en la máquina es una capacidad complementaria que acelerará y simplificará el uso de los cabezales [ANEXO pag. 82].

Lo que sucede es que hay que asegurarse de que la máquina sepa exactamente dónde está ubicada la punta de la herramienta instalada en la cabeza angular.

Como última desventaja a comentar el cabezal angular es un accesorio de husillo, no una salida directa de una máquina. Debido a que la rigidez y la potencia del cabezal son limitadas, se deben tomar pasos de corte con cargas de viruta más livianas y profundidades de corte menores.

### 3. MEMORIA DE CÁLCULO

Antes de comenzar es útil nombrar alguna de las principales cualidades que se busca tener en un portaherramientas:

- Montaje y desmontaje de la máquina sencillo.
- Permitir el cambio automático
- Ser suficientemente rígido para soportar las fuerzas de corte sin sufrir vibraciones durante el mecanizado y ofrecer estabilidad y repetitividad al proceso.
- Tener perfecta alineación la herramienta con el eje del porta herramienta (sistema de sujeción) lo que permite equilibrado correcto, no da lugar a fuerzas centrífugas excesivas.
- Poder transmitir los esfuerzos sin desplazamientos indeseados de la herramienta.

#### 3.1. Esfuerzos en el fresado

Para el diseño del cabezal universal se tuvieron en cuenta dos operaciones de base el fresado y el taladrado, las cargas engendradas por ambas operaciones, fueron calculadas a partir de información técnica de KENNAMETAL [2,3] e información general y nomenclatura de SANDVIK [4].

##### Datos:

Operación: ranurado.

Fresa: KC 633 M KENNAMETAL, D: diámetro exterior 10mm.

Número de filos: 4.

Velocidad de Corte  $V_c$ : 145 m/min figura 3.1.

$$Rpm: \frac{V_c \left[ \frac{m}{min} \right] \times 1000}{\pi \times d_{ext}[mm]} = \frac{145 \times 1000}{\pi \times 10} = 4600 \text{ rpm}$$

Material de trabajo AISI 4140, grupo ISO P 2 [11].

Dureza aproximada 220 HB.

Avance por diente  $f_z$  [mm/diente]: 0.048. En el caso de ranurado reducido un 20%.


**Ap** profundidad de corte axial: 0.5 mm.

**Ae** Profundidad de corte radial: 10 mm.



F4/6BJ...BDL45...

Reduzca la velocidad en un 20% en las aplicaciones de ranurado



Aplicación

Fresado lateral Fr. Ran.

Vc Kc633M m/min

fz- avance por diente (mm/diente) recomendado para operaciones de corte lateral  
En las operaciones de ranurado, reduzca el fz en un 20%.

D1- Diámetro (mm)

	6	8	10	12	16	20	25
P2	145	0,030	0,040	0,050	0,061	0,060	0,090
P3	135	0,030	0,040	0,050	0,061	0,060	0,090
P4	120	0,030	0,040	0,050	0,061	0,060	0,090
P5	70	0,020	0,030	0,041	0,045	0,050	0,061
P6	70	0,020	0,030	0,041	0,045	0,050	0,061
M1	85	0,030	0,038	0,041	0,051	0,061	0,090
M2	70	0,020	0,028	0,041	0,045	0,050	0,061

Figura 3.1- Información Fresa Kc 633M Kennametal.

Repaso de la nomenclatura básica empleada en el fresado

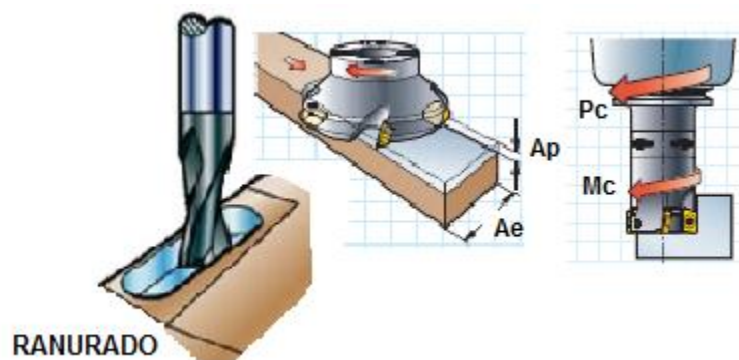


Figura 3.2 – Operación de ranurado. Nomenclatura básica del fresado.

**ap**= Profundidad de corte axial (mm); **ae**= Profundidad de corte radial (mm); **vf** = Velocidad de avance de la mesa (mm/min); **Pc**= Potencia neta (kW); **Mc**= Par de apriete (Nm).

La potencia neta **Pc** es la potencia que debe ser capaz de proporcionar la maquina a los fillos de la herramienta para impulsar la acción de mecanizado.

El par **Mc** es el par producido por las fuerzas de corte generadas por la herramienta durante el mecanizado y que la maquina debe ser capaz de suministrar.

Las fuerzas de corte ya sea en el fresado, taladrado, son variables en el tiempo y generan componentes axiales radiales y tangenciales a la herramienta de corte como puede verse en la siguiente figura:



Figura 3.3 – Componentes de las fuerzas de corte

Cálculo de la fuerza tangencial:

Máxima resistencia del material de trabajo:

$$S = 5 \times \text{dureza [HB]} = 5 \times 200 = 1100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zona transversal de la viruta

$$A = A_p \times f_z = 0.5 \times 0.048 = 0.025 \text{ mm}^2$$

Número de plaquitas o filos involucrados en el corte:

$$\frac{W}{D} = \frac{10}{10} = 1$$

$$ZC = 1 \times Z = 1 \times 4 = 4$$

Fuerza tangencial o fuerza de corte

$$F_t = S \times A \times Z_c \times C_m \times C_w$$

$$F_t = 1100 \times 0.025 \times 4 \times 1.3 \times 1.3 = 186\text{N}$$

Donde  $C_m$  es el factor de maquinabilidad y  $C_w$  factor de desgaste de la herramienta. Ambos toman los valores más altos 1.3 y son parte de información técnica de los manuales Kennametal [2,3].

En base a la fuerza tangencial determinada en la fórmula anterior es que se determina la fuerza radial como un 30% menor a la tangencial con un valor de 131 N y la axial como un 50% de la fuerza tangencial 93N. En el fresado.

Como está establecido en párrafos anteriores, y como se verá más adelante estos son valores máximos de esfuerzos fluctuantes en el tiempo.

- Cálculo del par en la fresa

$$T = \frac{(F_t \times D)}{2}$$

$$T = \frac{(186 \times 0.010)}{2} = 0.93 \text{ Nm}$$

- Cálculo de la potencia consumida en el fresado

$$HP_c = \frac{F_t \times V_c}{13440}$$

$$HP_c = \frac{186 \times 145}{13440} = 2 \text{ Kw}$$

Valores necesarios para poder dimensionar en lo que sigue distintas partes del cabezal.

### 3.2. Esfuerzos en el taladrado

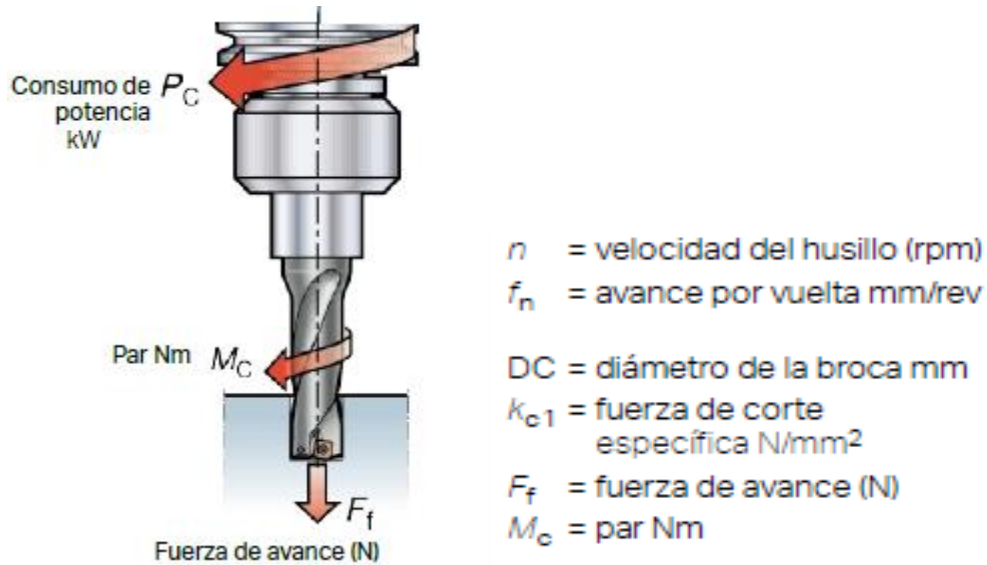


Figura 3.4 – Taladrado nomenclatura básica empleada.

Datos:

Operación: taladrado.

Broca KENNAMETAL.

Diámetro exterior  $D_c = 10\text{mm}$ .

Número de filos: 2.

Velocidad de Corte  $V_c$ : 90 m/min figura .

Material de trabajo AISI 4140, grupo ISO P 2 [11].

Dureza aproximada 220 HB.

Avance por diente  $f_z$  [mm/diente]: 0.2.

$$\text{Rpm: } \frac{V_c \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \times 1000}{\pi \times D_c [\text{mm}]} = \frac{90 \times 1000}{\pi \times 10} = 2865 \text{ rpm}$$

ISO	N. CMC	Material	Dureza Brinell HB	Calidad es	velocidad de corte (V <sub>c</sub> ), m/min	Díam. de taladrado, mm			
						3.00-6.00	6.01-10.00	10.01-14.00	14.01-20.00
P						Avance f, mm/r (3)			
	01.0	Acero no aleado C = 0,05-0,10 %	125	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.1	C = 0,1-0,25%	125	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.2	C = 0,25-0,55%	150	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.3	C = 0,55-0,90%	170	1220	70-130	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	01.4	Acero de alto cont. en carbono Acero de herramientas al carbono Acero de baja aleación	210	1220	70-120	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	02.1	No templado	180	1220	70-120	0.10-0.20	0.14-0.30	0.18-0.35	0.20-0.40
	02.2	Endurecido y templado	275	1220	70-100	0.10-0.20	0.14-0.30	0.18-0.35	0.20-0.40
	02.2	Endurecido y templado	350	1220	50-90	0.10-0.20	0.14-0.25	0.18-0.35	0.20-0.38
	03.11	Acero de alta aleación Recocido	200	1220	40-80	0.08-0.14	0.10-0.22	0.14-0.25	0.16-0.32
	03.21	Acero de herram. templado	325	1220	40-70	0.08-0.14	0.10-0.22	0.12-0.25	0.18-0.28
	06.1	Acero fundido No aleado	180	1220	70-130	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
	06.2	De baja aleación (elementos de aleación <5%)	200	1220	70-120	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45

Tabla 3.1 – Tabla de avances y velocidades de corte Kennametal

- Fuerza de avance F<sub>f</sub>:

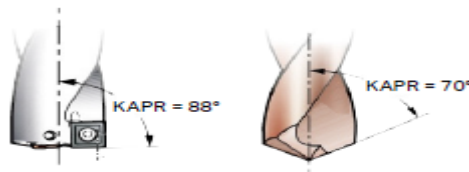


Figura 3.5 – Ángulo entre el filo y el eje de la herramienta

$$F_f = 0.5 \times K_c \times \frac{D_c}{2} \times f_n \times \sin KAPR$$

$$F_f = 0.5 \times 256 \times \frac{10}{2} \times 0.2 \times \sin 70 = 120N$$

V <sub>c</sub>	= velocidad de corte m/min
f <sub>n</sub>	= avance por vuelta mm/rev
v <sub>f</sub>	= velocidad de penetración mm/min
D <sub>C</sub>	= diámetro de la broca mm
f <sub>z</sub>	= avance por filo mm
k <sub>c1</sub>	= fuerza de corte específica N/mm <sup>2</sup>
P <sub>C</sub>	= consumo de potencia kW
F <sub>f</sub>	= fuerza de avance (N)
M <sub>C</sub>	= par Nm

Tabla 3.2 – Simbología empleada

- Fuerza específica de corte Kc:

ISOP			Fuerza de corte específica $K_{c1} 1.0$ N/mm <sup>2</sup>	Fuerza de corte específica $K_{c1} .0394$ lbs/pulg. <sup>2</sup>	Dureza Brinell HB	mc
Núm. MC	N.º CMC	Material				
P1.1.Z.AN	01.1	Acero sin aleaer C = 0.1-0.25%	1500	216.500	125	0.25
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0.25-0.55%	1600	233.000	150	0.25
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	247.000	170	0.25
P1.3.Z.AN	01.4	Acero con alto contenido en carbono, recocido	1800	260.500	210	0.25
P1.3.Z.HT	01.5	Endurecido y templado	2000	291.500	300	0.25
		Baja aleación (elementos de aleación ≤5 %)				
P2.1.Z.AN	02.1	No templado	1700	246.500	175	0.25
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	1900	278.500	300	0.25

Tabla 3.3 – Tabla Fuerzas específicas de corte Kennametal

Kc1=1800 surge de una interpolación de los valores recuadrados en rojo.

$$Kc = Kc1 \times (fz \times \sin KAPR)^{-mc} \times \left(1 - \frac{\gamma^0}{100}\right)$$

$$Kc = 1800 \times (0.2 \times \sin 70^\circ)^{-0.25} \times \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 256 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Consumo de potencia Pc en e taladrado:

$$Pc = \frac{fn \times Vc \times Dc \times Kc}{240 \times 10^3}$$

$$Pc = \frac{0.2 \times 90 \times 10 \times 256}{240 \times 10^3} = 0.192 \text{ Kw}$$

- Par Mc

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n}$$

$$M_c = \frac{0.192 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 2865} = 0.64 \text{ Nm}$$

### 3.3. Verificación Dinámica

El módulo de la fuerza de corte (P) necesaria para arrancar el material y generar la viruta en los procesos de mecanizado viene dada por la expresión:

$$P = S_c \times K_s$$

Donde:

$S_c$ = sección de corte en  $\text{mm}^2$

$K_s$ = Presión específica de corte.

$K_s$ : Puede determinarse de **forma práctica y de forma analítica**, en forma práctica su valor es de 3 a 5 veces superior a la dureza (HB) del material, que es como se utilizó anteriormente para calcular la fuerza tangencial en el fresado.

En el caso de la determinación analítica está dada por una fórmula simple:

$$K_s = \frac{K}{\sqrt[4]{S_c}}$$

Donde:

$K$ = coeficiente de tabla de Hippler de los materiales.

$S_c$ = sección de corte en  $\text{mm}^2$ .

La sección de corte o de viruta  $S_c$ , representa la sección de material que está siendo arrancada por un diente, y se obtiene multiplicando el espesor de viruta “ $a_c$ ”, por la anchura de corte “ $a_w$ ”.

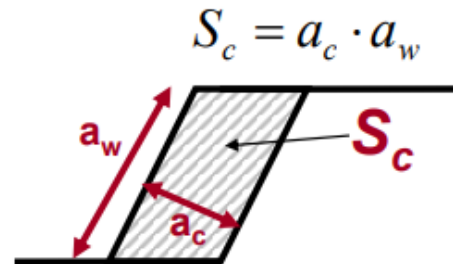


Figura 3.6 – Sección de la viruta.

El espesor de viruta “ $a_c$ ” varía a lo largo del recorrido del diente, dependiendo de la posición radial del mismo, definida por el ángulo  $\theta$  como puede verse en la figura 3.7.

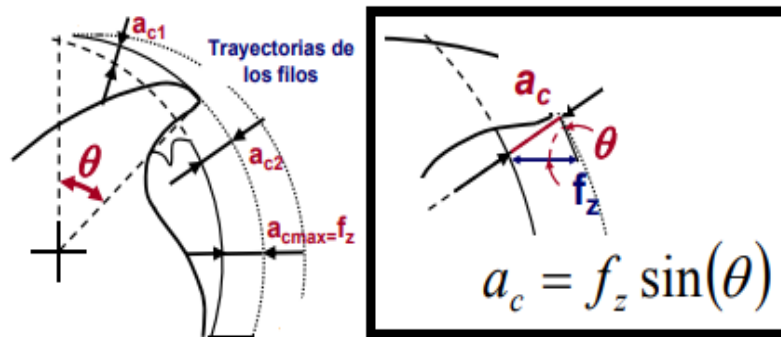


Figura 3.7 – Posición radial del diente de una fresa, definida por el ángulo  $\theta$ .

En la siguiente figura puede verse una representación de como varía la sección de viruta  $S_c$  a lo largo de la trayectoria de los filos de la herramienta.

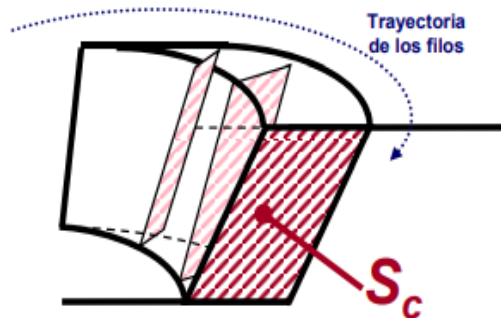


Figura 3.8 – Variación de la sección de la viruta  $S_c$  a lo largo de la trayectoria del diente.



La fuerza (P) de corte en fresado es variable por dos motivos:

$$P = S_c \times K_s$$

- $S_c$  es variable.
- $K_s$  también es variable, es función de “ac”.

Ahora el vector fuerza de corte (P) viene aplicado en el baricentro de la sección de viruta y puede realizarse la descomposición cartesiana según x, y, z. Donde el eje z es paralelo al eje de la herramienta y el eje y paralelo al radio.

Quedando así tres componentes cartesianas de P nombradas a continuación  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ .

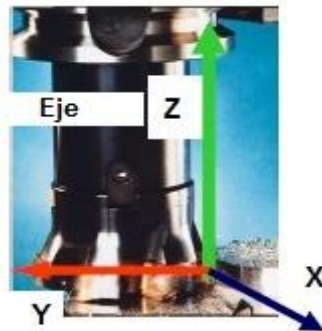


Figura 3.9 – Sistema de ejes cartesianos

La variación de las tres componentes de la fuerza de corte en el tiempo,  $F_x(t)$ ,  $F_y(t)$ ,  $F_z(t)$  en un ensayo en condiciones de laboratorio (de un fresado) de similares características a las calculadas en los párrafos anteriores puede visualizarse en la siguiente figura:

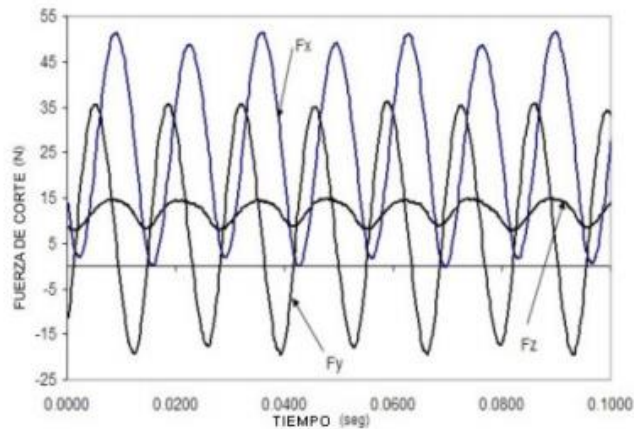


Figura 3.10 – Variación de las componentes de la fuerza de corte en el tiempo.

Resulta que al sumar las tres componentes de la fuerza de corte en el tiempo y determinar la resultante de corte (P). Puede visualizarse en la siguiente figura 3.11 y constituye un método inverso como a través sensores en condiciones de laboratorio se miden las tres componentes y se llega a la fuerza de corte (P) sin emplear las fórmulas antes vistas:

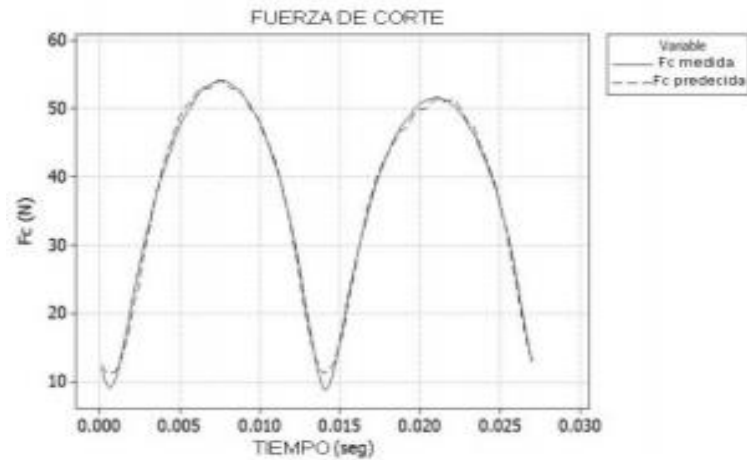


Figura 3.11 – Variación en el tiempo de la fuerza de corte.

Sin entrar en un análisis demasiado profundo de los párrafos anteriores a lo que se quiere arribar es a mostrar que las fuerzas de corte, fluctúan como se aclaró anteriormente, pero que lo hacen según una variación armónica en el tiempo como puede verse en 3.11.

Una vez que se conoce la naturaleza de las fuerzas aplicadas al cabezal, se van a determinar las deformaciones máximas que puede sufrir el mismo.

Para ello la respuesta del dispositivo a distintas cargas dinámicas impulsivas puede determinarse a partir de la integral de Duhamel:

$$U(t) = \frac{1}{w \times M} \int_0^t P(\zeta) \text{sen } w(t - \zeta) d\zeta$$

La integral ya está resuelta para una gran cantidad de casos típicos de cargas conocidas. Las soluciones pueden extraerse de tablas [38].

$U(t)$  según la integral son desplazamientos. Como lo que se quiere determinar son desplazamientos máximos ( $U_{\text{max}}$ ), se puede arribar con solo resolver la siguiente ecuación derivada de la integral de Duhamel:

$$U(t)_{\text{max}} = \frac{P_0}{K} \times \gamma$$

Donde:

- $P_0$  corresponde a la carga estática aplicada.
- $K$  es la rigidez correspondiente al grado de libertad.
- La relación  $P_0/K$  es la deformación estática producida por la carga  $P_0$  aplicada estáticamente.
- $\gamma$  (**gamma**) se conoce como factor de carga dinámico.

$\gamma$  (**gamma**): factor de carga dinámico o coeficiente de amplificación dinámica, se determina su valor de tabla, en el caso de ser una **carga de naturaleza armónica como lo es la fuerza de corte (P)** adquiere un valor **de 1.5**.

Luego para realizar la verificación a las sollicitaciones dinámicas del cabezal.

Se determinaron los esfuerzos estáticos máximos, fuerzas de corte máximas a las que puede estar sometido el dispositivo. Se multiplican por el factor de carga dinámico en este caso corresponde a 1.5 como se vio anteriormente, agregado un coeficiente de seguridad  $CS = 1.3$  y mediante la ayuda de un software [47] se calculan deformaciones que puedan llegar a existir. **Al no ser un análisis dinámico acabado el método es algo conservativo es decir está del lado de la seguridad.**

**Los desplazamientos máximos que se pueden llegar a tolerar deben estar en el orden de magnitud de la milésima de milímetro, ya que los trabajos a realizar por el cabezal por lo general llegan a tener una precisión de 1 a 2 centésimas de milímetro.**

### 3.3.1. Evaluación del diseño propuesto

Para poder convalidar el diseño propuesto se realiza un análisis de las **desviaciones del eje del porta fresa** en algunas operaciones críticas, posiciones del cabezal de mayor sollicitación previamente evaluadas sumadas a la introducción de cargas elevadas.

Como criterio de decisión se pretende que los desplazamientos máximos del eje del porta fresa estén dentro de cierta "tolerancia". Dicha tolerancia está establecida en que dichos desplazamientos deben estar en el orden de magnitud de la milésima de milímetro en las operaciones de corte que se verán a continuación.

Entonces con los valores de los esfuerzos determinados para el fresado y el taladrado multiplicados por el factor de carga dinámico  $\gamma$ , un coeficiente de seguridad  $CS = 1.3$  sección

anterior [3.3], y la ayuda del software Catia módulo estructural [12] se evalúa el orden de magnitud de los desplazamientos del eje porta fresa.

Cabe aclarar que dicho análisis es un método conservador, está del lado de la seguridad, y sirvió para evaluar el modelo.

### Posiciones y operaciones críticas en las que se evaluó el cabezal:

- **Primera Posición:** fresa trabajando paralela al eje Z y eje de tapa móvil paralelo al eje X del sistema de referencia según figura, en una operación de fresado sobre un acero con una profundidad de pasada de 5 décimas y CS= 1.3. Puede verificarse en la imagen (cuya deformación mostrada es exagerada), que en promedio las desviaciones del eje “números en rojo”, están dentro de la milésima de milímetro.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es la uniformidad de color azul a lo largo de toda la figura por ende de las deformaciones del cabezal.

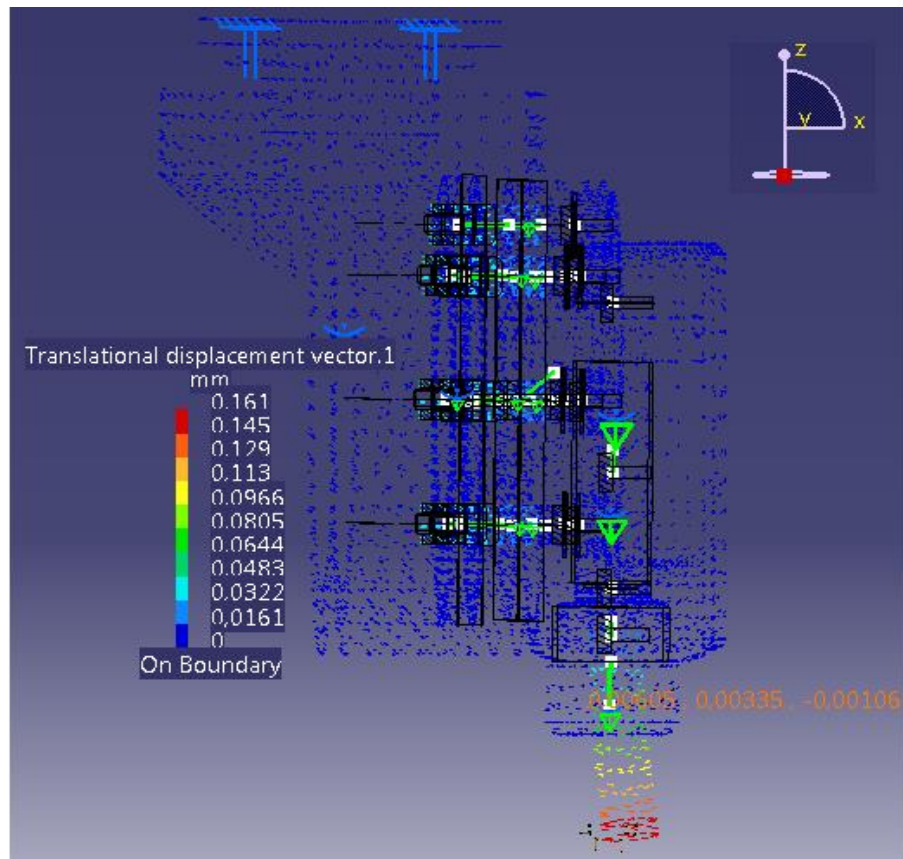


Figura 3.12 – Desplazamiento del eje del porta fresa en un fresado. (Referencia: fresa paralela al eje del husillo del centro de mecanizado)

- **Segunda posición:** fresa trabajando paralela al eje Z y eje de tapa móvil paralelo al eje Y, misma posición anterior en una operación combinada de perforado y fresado sobre un acero. Puede verificarse en la imagen (cuya deformación es exagerada) que en promedio los desplazamientos del eje, “números en rojo”, están dentro de la milésima de milímetro y otro de los aspectos a tener en cuenta es la uniformidad de color azul y por ende de las deformaciones a lo largo de todo el cabezal. No se observan grandes cambios respecto a la operación anterior a pesar del incremento de las solicitaciones.

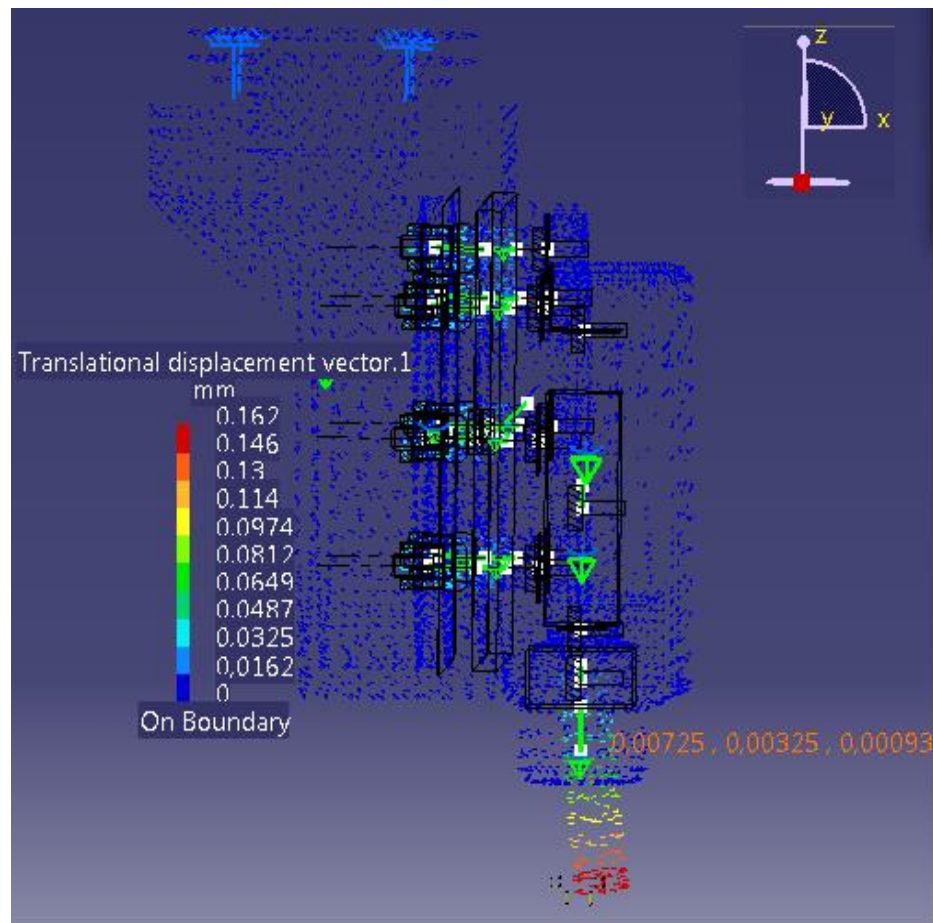


Figura 3.13 – Desplazamiento del eje del porta fresa en una operación combinada taladrado y fresado.  
(Referencia: fresa paralela al eje del husillo del centro de mecanizado)

- **Tercera posición:** fresa trabajando paralela al eje Y y eje de tapa móvil paralelo al eje X, del sistema de referencia según figura. En una operación combinada de perforado y fresado sobre un acero con un  $CS= 1.3$ . Puede verificarse en la imagen (cuya deformación esta

exagerada) que en promedio los desplazamientos del eje, números en rojo, están dentro de la milésima de milímetro y otro de los aspectos a tener en cuenta es la uniformidad de color celeste y azul por ende la uniformidad de las deformaciones del cabezal.

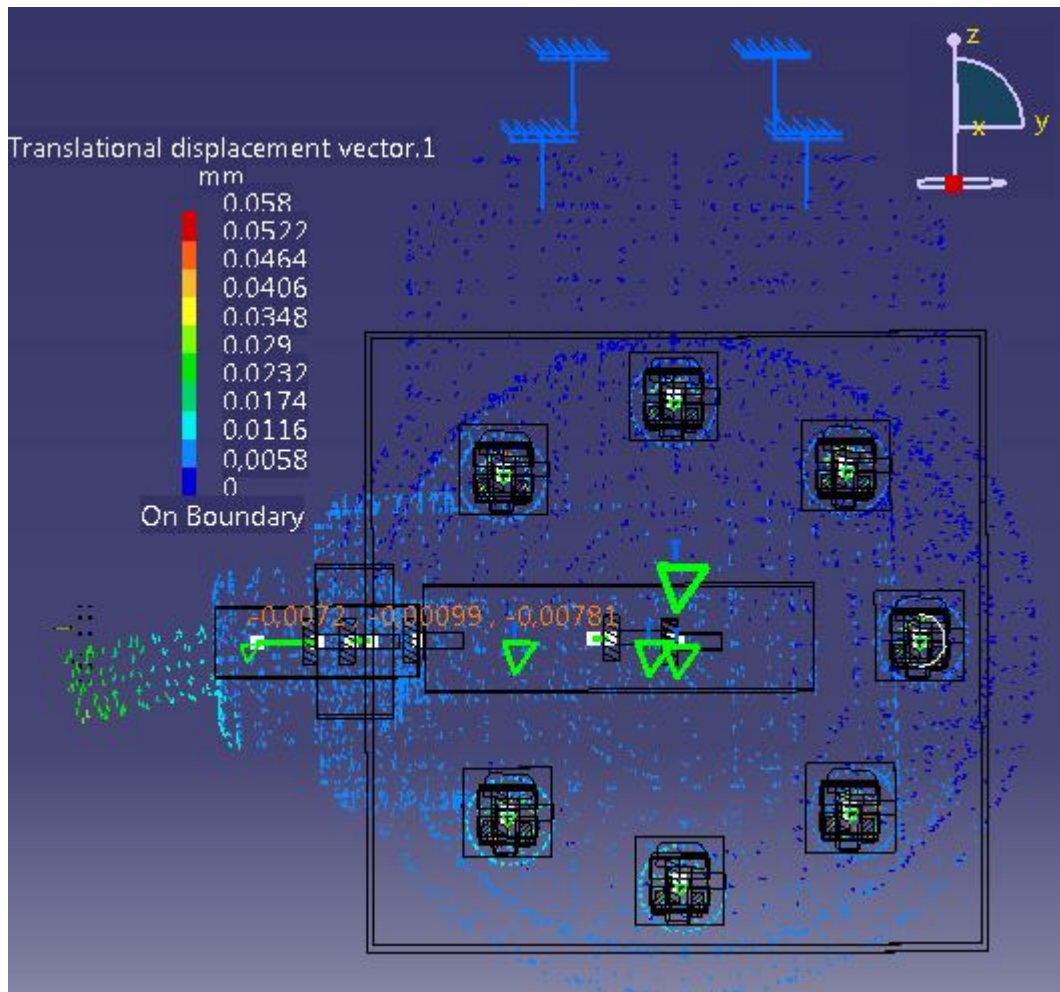


Figura 3.14 – Desplazamiento del eje del porta fresa en una operación fresado, ranurado.  
(Referencia: fresa a 90° al eje del husillo del centro de mecanizado)

- **Cuarta** posición: fresa trabajando paralela al eje Y y eje de tapa móvil paralelo al eje X, en una operación combinada de perforado y fresado sobre un acero con un  $CS= 1.3$ . Puede verificarse en la imagen (cuya deformación es exagerada) que en promedio los desplazamientos del eje, “números en rojo”, están dentro del orden de magnitud de la milésima de milímetro otro de los aspectos a tener en cuenta es la uniformidad de color

azul y por ende de las deformaciones a lo largo de todo el cabezal. No se observan grandes cambios respecto a la operación anterior.

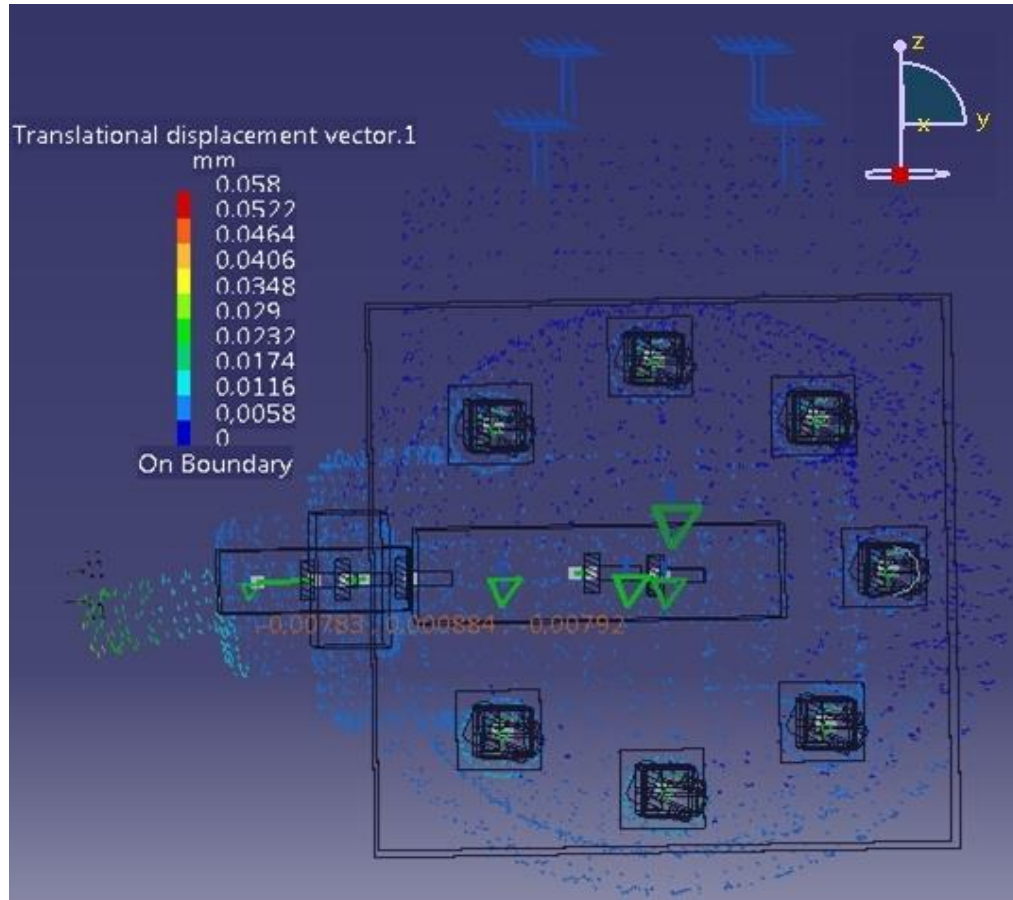


Figura 3.15 – Desplazamiento del eje del porta fresa en una operación combinada fresado y taladrado.  
(Referencia: fresa a  $90^\circ$  al eje del husillo del centro de mecanizado)

- **Quinta posición:** fresa trabajando a  $45^\circ$  del eje Z y eje de tapa móvil paralelo al eje X, en una operación combinada de perforado y fresado sobre un acero con un  $CS= 1.3$ . Puede verificarse en la imagen (cuya deformación es exagerada) que en promedio los desplazamientos del eje, números en rojo, están dentro del orden de magnitud de la milésima de milímetro otro de los aspectos a tener en cuenta es la uniformidad de color azul y por ende de las deformaciones a lo largo de todo el cabezal.

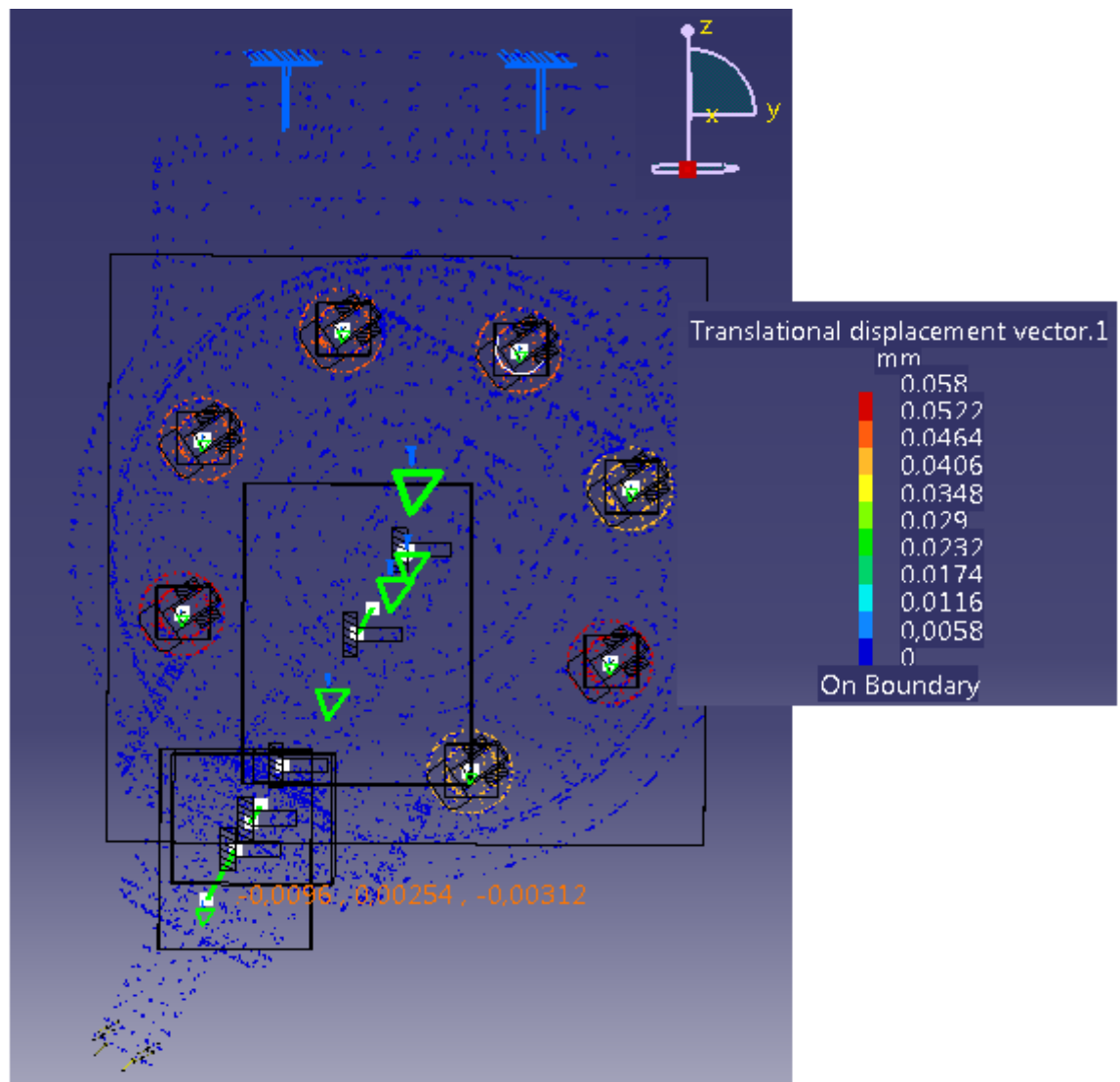


Figura 3.16 – Desplazamiento del eje del porta fresa en una operación combinada fresado y taladrado.  
 (Referencia: fresa a 45° al eje del husillo del centro de mecanizado)

Por último con la idea de analizar el comportamiento del cabezal frente a grandes solicitaciones, analizar deformaciones frente a **situaciones hipotéticas** se duplicaron todas las cargas. (Deformaciones exageradas en la figura 3.17). Partes de mayor sollicitación, magnitud de las deformaciones máximas, etc.



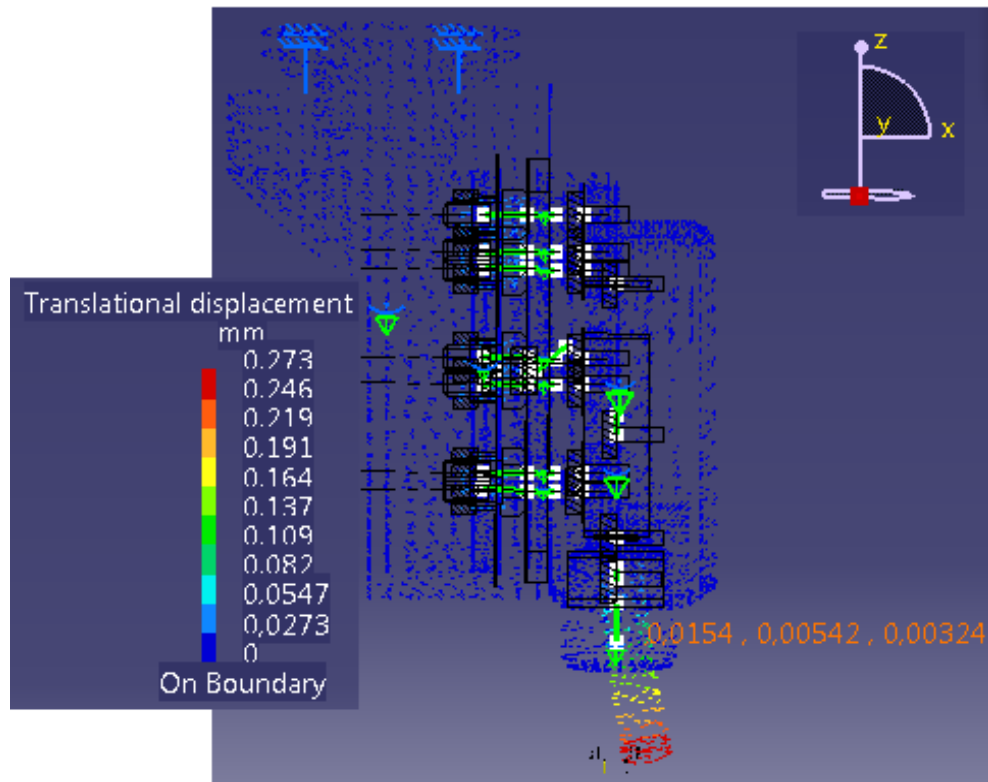


Figura 3.17 – Desplazamiento del eje del porta fresa en una operación hipotética combinada fresado y taladrado con grandes cargas. (Referencia: fresa paralela al eje del husillo del centro de mecanizado)

Como **conclusión** de esta sección **numero uno** la validez del modelo planteado, los desplazamientos del eje están dentro de la tolerancia prefijada en las cinco posiciones es decir el modelo verifica.

**Numero dos** se puede asegurar que se puede trabajar con hasta dos centésimas de precisión en pasadas de cinco décimas de profundidad de arranque de viruta. Para incrementar dicha precisión se recomienda disminuir la profundidad de la pasada.

Los resultados son satisfactorios sabiendo que se dispone de un coeficiente de seguridad CS y además el modelo de evaluación propuesto es conservador.

**Sería indispensable construir el cabezal y realizar pruebas de las distintas posiciones y operaciones.** Lo que sí se sabe es que se está en el camino correcto tanto en precisión como en uniformidad de deformaciones del cabezal durante las operaciones.

Cabe aclarar que no se evaluaron los desplazamientos en el extremo de la herramienta de corte primero porque se sometió a solicitaciones mínimamente por encima de los valores

normales de corte, para poder evaluar el modelo, segundo por no tener un conocimiento acabado de las propiedades de las herramientas en un ámbito que existe mucha variación y constante evolución tercero y último porque puede existir distintas operaciones con la herramienta de corte fresado, taladrado, etc.

### 3.4. Transmisión de potencia mediante ejes

La ecuación del código ASME para un eje, combina torsión flexión y carga axial. Aplicando la **ecuación del esfuerzo cortante máximo**, modificada mediante la introducción de factores de choque y fatiga, para un eje macizo con baja carga axila se reduce a lo siguiente:

[Puede visualizarse la norma ASME completa en el Anexo].

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times S_s} \times \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}$$

Brevemente cada una de las partes de la ecuación:

d= diámetro del eje [m]

K<sub>b</sub>= factor combinado de choque y fatiga aplicado al momento flector.

M<sub>b</sub>= momento de flector [Nm].

K<sub>t</sub>= factor combinado de choque y fatiga aplicado al momento torsor.

M<sub>t</sub>= momento torsor [Nm].

	$K_b$	$K_t$
<b>Para ejes estacionarios:</b>		
Carga aplicada gradualmente	1,0	1,0
Carga aplicada repentinamente	1,5 a 2,0	1,5 a 2,0
<b>Para ejes en rotación:</b>		
Carga aplicada gradualmente	1,5	1,0
Carga repentina (choque menor)	1,5 a 2,0	1,0 a 1,5
Carga repentina (choque fuerte)	2,0 a 3,0	1,5 a 3,0

Tabla 3.4 – Código ASME factores combinados de choque y fatiga.

- El código ASME especifica para ejes de acero comercial (1020):

$S_s = 55.16 \times 10^6$  [Pa] para ejes “sin” cuñero.

$S_s = 41.4 \times 10^6$  [Pa] para ejes “con” cuñero.

- Para ejes de acero (1045) el código indica como calcular  $S_s$ , teniendo información sobre distintos tipos de acero tabla 3.5 [SAE Handbook p. 215] :

$S_s = 100 \times 10^6$  [Pa] para ejes “sin” cuñero.

$S_s = 75 \times 10^6$  [Pa] para ejes “con” cuñero.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA, %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

Características y propiedades mecánicas a la tensión de algunos aceros rolados en caliente (HR) y estirados en frío (CD).

[Las resistencias indicadas son valores mínimos ASTM estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm (¾ a 1¼ in). Tales resistencias son adecuadas para el uso con el factor de diseño definido en la sección 1-9, siempre que los materiales cumplan los requisitos ASTM A6 o A568, o sean requeridos en las especificaciones de compra. Conviene recordar que una designación numérica no es una especificación. Véanse en la tabla 1-1 las propiedades de algunos aceros ASTM.]

Tabla 3.5 – Información sobre distintos tipos de acero SAE Handbook.

### 3.4.1. Determinación del diámetro del eje tractor

A partir de la naturaleza de las fuerzas de corte, las dimensiones principales del cabezal (pueden verse en la figura - 3.12) y las posibilidades de movimiento se procede a la determinación del diámetro del eje tractor.

El cabezal tiene la posibilidad de movimiento (manual) según el eje C, rotación alrededor de Z, y según la posición en que quede en C, puede rotar (manualmente) según los ejes A , B o intermedio según corresponda lo cuál sería posibilidad de movimiento alrededor de los eje X , Y o algún eje intermedio.

Para poder determinar el diámetro de dicho eje se realizó un análisis de la composición de los esfuerzos ejercidos sobre el eje tractor según las diferentes posiciones en que puede trabajar la fresa y los distintos sentidos de las componentes de la fuerza de corte.

Cabe aclarar que los esfuerzos engendrados por las fuerzas de corte al encontrarse operando el cabezal, son “absorbidos” o transmitidos al resto de la máquina a través del eje tractor y del pin de seguridad, distribuido en distintas magnitudes en estos dos puntos según la posición en que este operando la fresa.

Para poder realizar los cálculos hubo que introducir **una hipótesis de distribución de la carga** donde el eje tractor absorbe 70% de los esfuerzos engendrados y el pin el 30% restante salvo una excepción sobre las cargas en el plano (Z,Y) donde el pin realiza el mayor aporte sobre las solicitaciones en dicho plano, la hipótesis se invierte el pin toma el 70% y el otro 30% el eje tractor.

Según las distintas posiciones en las que se haga trabajar la fresa las componentes de esfuerzos factor, torsor, corte y de compresion o tracción varían según un sistema de ejes cartecianos adoptado como se ve en la figura 3.12.

Luego de analizar distintas posiciones se llegaron a determinar dos de mayor solicitación para el eje tractor como se verá en lo que sigue.

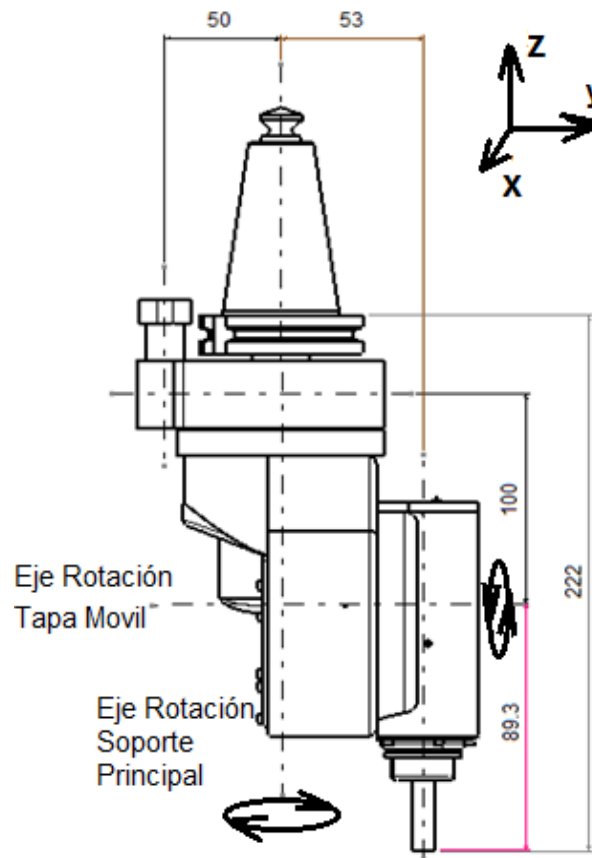


Figura 3.18 – Cabezal Universal con sus dimensiones principales en [mm] y sistema de ejes coordenados adoptado.

A demás de las dos posiciones de mayor sollicitación al eje se somete el cabezal a una operación crítica de perforado y fresado a la vez para el cálculo del diámetro de dicho eje.

- **Primera Posición:** eje de rotación del porta fresa (tapa movil), paralelo al eje Y del sistema de referencia, y Fresa trabajando paralela al eje Z. Posición coincidente con la de la figura 3.12.

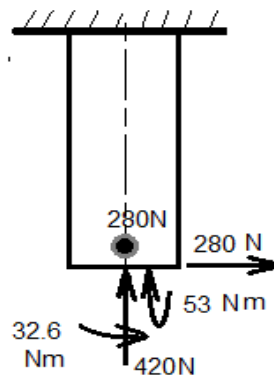


Figura 3.19 - Representación esquemática de los esfuerzos en el eje en la primera posición.

Momento torsor transmitido: 6.1 Nm

Realizando la composición total de momento flector empleando el teorema de Pitágoras:

$$M_f = \sqrt{(42.4)^2 + (62.8)^2} = 76 \text{ Nm}$$

Compresión del eje:

$$C = 420 \text{ N}$$

Deformación del eje por compresión determinada con el programa Porti [16] con una sección aproximada:

DESPLAZAMIENTOS				REACCIONES	
NUDO	DespX	DespY	Rotación	FuerzaX	FuerzaY
1	0.00000	0.00000	0.0000000	0.00	420.00 N
2	0.00000	0.00000	0.0000000	0.00	0.00

Figura 3.20 – Desplazamientos y reacciones del eje tractor a aplicar la carga de compresión determinados por programa Porti.

**“Resultado que permite emplear la ecuación ASME para ejes con carga axial pequeña”.**

Diámetro correspondiente al eje según norma ASME en unidades del SI, para ejes macizos cuya carga axial sea pequeña y material acero SAE 8620:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot 200 \times 10^6} \sqrt{(1.5 \cdot 75)^2 + (1.5 \cdot 6.1)^2}} = 0.014 \text{ m}$$

Donde:  $d$  es el diámetro del eje correspondiente,  $S_s = 200 \times 10^6$ , en el caso de ejes con cuñero,  $K_b$  y  $K_t$  caso de ejes en rotación y carga repentina adquieren el valor de 1.5.

- **Segunda Posición:** eje de rotación del porta fresa (tapa móvil) paralelo al eje X del sistema de referencia, y fresa paralela al eje Z.

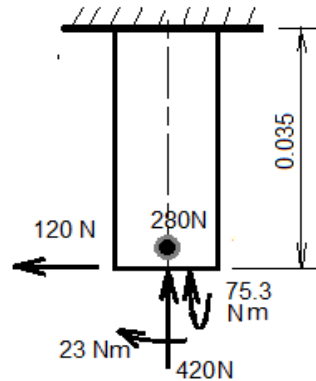


Figura 3.21 - Representación esquemática de los esfuerzos en el eje en la segunda posición.

Momento Torsor: 6.1 Nm

Momento Flector:

$$M_f = \sqrt{(27.2)^2 + (85.3)^2} = 90 \text{ Nm}$$

Compresión del eje:

$$C = 420 \text{ N}$$

Diámetro correspondiente al eje según norma ASME en unidades del SI, para ejes macizos con carga axial pequeña o nula se reduce a:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot 200 \times 10^6} \sqrt{(1.5 \cdot 90)^2 + (1.5 \cdot 6.1)^2}} = 0.015 \text{ m}$$

Donde: d es el diámetro del eje correspondiente,  $S_s = 200 \times 10^6$  MPa en el caso de ejes con cuñero.  $K_b$  y  $K_t$  en el caso de ejes en rotación y carga repentina adquieren el valor de 1.5.

El diámetro máximo es de 15mm por lo tanto el eje tiene que tener ese diámetro en acero 8620, el mismo a su vez posee excelentes propiedades a fatiga.

### 3.4.2. Determinación del diámetro del Pin de Seguridad

Para poder determinar el diámetro del pin hay que analizar cuatro posiciones de gran sollicitación al pin como se ve a continuación. Son válidos tres ítems propuestos en el caso anterior determinación del diámetro del eje tractor :

- La hipótesis de distribución de la carga.
  - El sistema de ejes cartesianos.
  - La ecuación ASME con carga axial pequeña.
- **Primera Posición:** la fresa se encuentra trabajando paralela al eje Z, coincidente con el eje del husillo de la máquina y el eje de la tapa móvil coincidente con el eje Y del sistema de referencia.

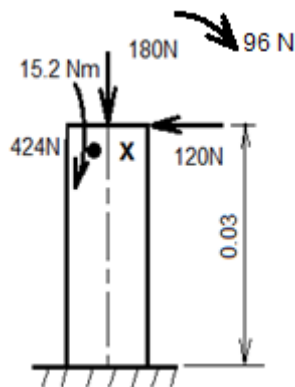




Figura 3.22 - Representación esquemática de los esfuerzos en el Pin en la primera posición.

En la parte baja del pin al ras de la brida, se encuentra la sección más solicitada del pin cuyo momento flector  $M_f$ , surge de la composición de momentos en los ejes X e Y del sistema de referencia :

$$M_f = \sqrt{(96 - 3.6)^2 + (15.2 + 9.12)^2} = 95 \text{ Nm}$$

Diámetro correspondiente al eje según la norma ASME en unidades del SI, para ejes macizos estacionarios en este caso con carga axial pequeña o nula se reduce a:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi 200 \times 10^6} (1.5 \times 95)} = 0.015 \text{ m}$$

Donde:  $d$  es el diámetro del eje correspondiente,  $S_s = 120 \times 10^6 \text{ Pa}$  acero SAE 8620.  $K_b$  en el caso de ejes estacionarios y carga repentina adquieren el valor de 1.5.

- **Segunda Posición:** la fresa se encuentra trabajando paralela al eje X, y el eje de la tapa móvil coincide con el eje Y del sistema de referencia.

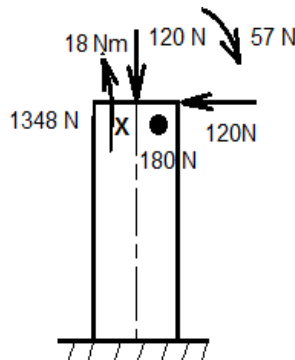


Figura 3.23 - Representación esquemática de los esfuerzos en el Pin en la segunda posición.

En la parte baja del pin al ras de la brida, se encuentra la sección mas solicitada del pin cuyo momento flector  $M_f$ , surge de la composición de momentos en los ejes X e Y del sistema de referencia :

$$M_f = \sqrt{(57 - 3.6)^2 + (18 + 35)^2} = 75 \text{ Nm}$$

Diámetro correspondiente al eje según la norma ASME en unidades del SI, para ejes macizos estacionarios con carga axial pequeña o nula se reduce a:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi 200 \times 10^6} (1.5 \times 75)^2} = 0.014 \text{ m}$$

Donde:  $d$  es le diámetro del eje correspondiente,  $S_s = 200 \times 10^6 \text{ Pa}$  para el caso de un acero SAE 8620.  $K_b$  factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector,  $M_b$  momento flector.  $K_b$  en el caso de ejes estacionarios y carga repentina adquieren el valor de 1.5.

- **Tercera Posición:** la fresa se encuentra trabajando paralela al eje Z, y el eje de la tapa movil coincidente con el eje X del sistema de referencia.

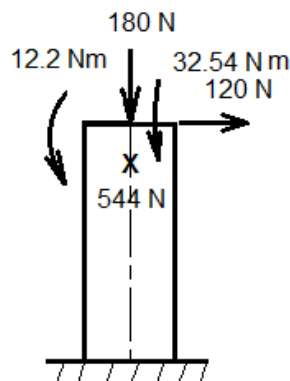


Figura 3.24 - Representación esquemática de los esfuerzos en el Pin en la tercera posición.

En la parte baja del pin al ras de la brida, se encuentra la sección mas solicitada del pin cuyo momento flector  $M_f$ , surge de la composición de momentos en los ejes X e Y del sistema de referencia :

$$M_f = \sqrt{(12.2 - 3.6)^2 + (32.54 - 16.32)^2} = 18.36 \text{ Nm}$$

Diámetro correspondiente al eje según la norma ASME en unidades del SI, para ejes macizos con carga axial pequeña o nula se reduce a:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi 200 \cdot 10^6} (1.5 \times 18)} = 0.008 \text{ m}$$

Donde:  $d$  es le diámetro del eje correspondiente,  $S_s = 200 \times 10^6$  Pa con cuñero se corresponde con un acero SAE 8620.  $K_b$  en el caso de ejes estacionarios y carga repentina adquieren el valor de 1.5 según la norma.

- **Cuarta Posición:** la fresa se encuentra trabajando paralela al eje Y, y el eje de la tapa movil coincidente con el eje X del sistema de referencia.

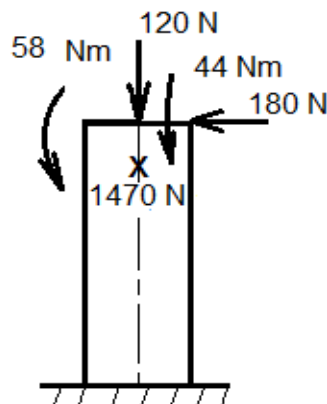


Figura 3.25 - Representación esquemática de los esfuerzos en el Pin en la cuarta posición.

En la parte baja del pin al ras de la brida, se encuentra la sección más solicitada del pin cuyo momento flector  $M_f$ , surge de la composición de momentos en los ejes X e Y del sistema de referencia :

$$M_f = \sqrt{(58 + 5.4)^2} = 63.4 \text{ Nm}$$

Diámetro correspondiente al eje según la norma ASME en unidades del SI, para ejes macizos con carga axial pequeña o nula se reduce a:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi 200 \cdot 10^6} (1.5 \times 63.4)} = 0.014 \text{ m}$$

Donde:  $d$  es el diámetro del eje correspondiente,  $S_s = 200 \times 10^6$  Pa para el caso de un acero comercial con cuñero, se corresponde con un acero SAE 8620.  $K_b$  en el caso de ejes estacionarios y carga repentina adquieren el valor de 1.5 según la norma.

El mayor diámetro de pin de seguridad es de 15mm de acero SAE 8620, además posee un buen comportamiento a fatiga y al desgaste.

### 3.5. Eje Porta Fresa

Para poder determinar las reacciones de apoyo en el eje porta fresa, y una posterior verificación de los rodamientos y diámetro del mismo es necesario resolver un sistema hiperestático.

Resolviendo las componentes cartesianas de las incógnitas hiperestáticas con la ayuda del programa Porti [17] para una operación de gran sollicitación como el ranurado es decir taladrado y fresado la combinación de las dos operaciones.

Según las fuerzas calculadas anteriormente para el perforado y fresado:

Reacciones en el plano (Y,Z):

NUDO	DESPLAZAMIENTOS			---- REACCIONES ----		
	Desp Y	Desp Z	Rotación	Fuerza Y	Fuerza Z	MOMENTO
1	0.00000	0.00000	0.0000000	-128.92	-320.47	1.2
2	0.00000	0.00000	-0.0000216	0.00	0.00	0.0
3	0.00000	0.00000	0.0000000	-10.28	-461.53	-0.2
4	0.00000	0.00000	0.0000000	-600.00	0.00	28.8
5	0.00000	0.00000	-0.0002592	0.00	0.00	0.0
6	0.00005	0.00000	-0.0016368	0.00	0.00	0.0

Figura 3.26 – Componentes de las reacciones hiperestáticas en el plano (Z,Y)

Reacciones en el plano (X,Z):

NUDO	DESPLAZAMIENTOS			---- REACCIONES ----		
	DespX	DespZ	Rotación	FuerzaX	FuerzaZ	MOMENTO
1	0.00000	0.00000	0.0000000	-376.95	0.00	3.4
2	0.00000	0.00000	-0.0000631	0.00	0.00	0.0
3	0.00000	0.00000	0.0000000	-30.05	0.00	-0.7
4	0.00000	0.00000	0.0000000	-400.00	0.00	19.2
5	0.00000	0.00000	-0.0001728	0.00	0.00	0.0
6	0.00004	0.00000	-0.0010912	0.00	0.00	0.0

Figura 3.27 – Componentes de las reacciones hiperestáticas en el plano (Z,X)

### Composición de las fuerzas y momentos:

Fuerzas en el cuarto nodo, corresponde con el primer rodamiento ( es el más próximo a la fresa):

$$\sqrt{600^2 + 400^2} = 721 \text{ N}$$

Momentos en el cuarto nodo, corresponde con el primer rodamiento (es el más próximo a la fresa):

$$\sqrt{19.2^2 + 28.8^2} = 35 \text{ Nm}$$

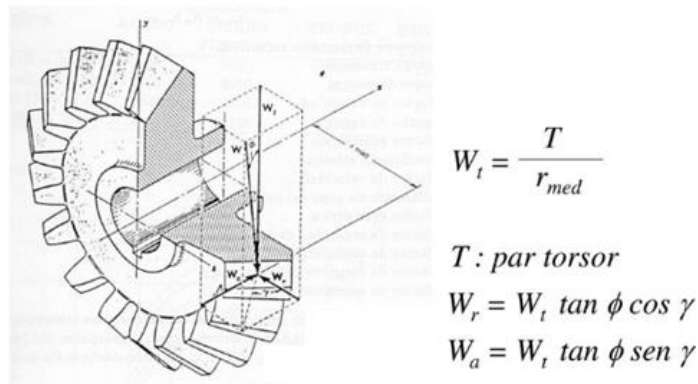
Fuerza axial sobre el eje:

$$FA = 982 \text{ N}$$

### 3.6. Verificación de Engranés

Todos los engranes empleados en el cabezal son cónicos de dientes rectos cuyas dimensiones y características principales están descritas a continuación.

La fuerza de contacto que actúa sobre el diente de un engrane cónico al transmitir la carga, tiene componentes tangencial, radial y axial, como puede verse en la siguiente figura:



$$W_t = \frac{T}{r_{med}}$$

$T$ : par torsor

$$W_r = W_t \tan \phi \cos \gamma$$

$$W_a = W_t \tan \phi \sen \gamma$$

$W_t$ : componente tangencial de la fuerza de contacto

$W_r$ : componente radial de la fuerza de contacto

$W_a$ : componente axial de la fuerza de contacto

$r_{med}$ : radio de paso en el punto medio del diente

$\phi$ : ángulo de presión

$\gamma$ : ángulo de paso

Figura 3.28 – Engranaje cónico componentes cartesianas de la fuerza de contacto, nomenclatura.

Cabe aclarar que el radio medio el ángulo de presión y el ángulo de paso son características constructivas del engrane.

El ángulo presión y el radio medio vienen dados como dato. El ángulo de paso por lo general no viene dado como dato y se calculan de forma muy fácil según la siguiente figura:

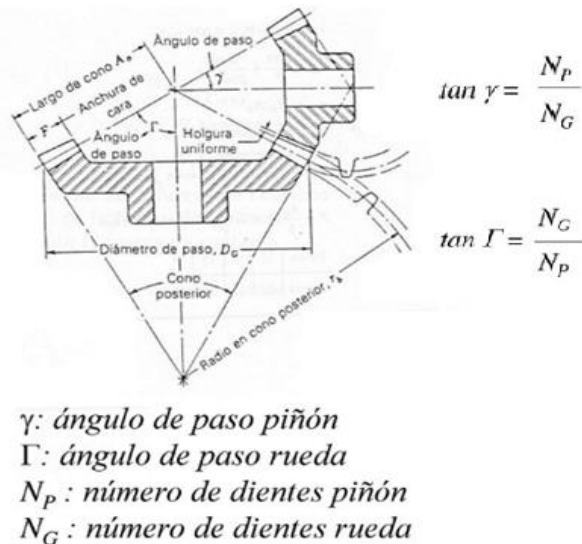


Figura 3.29 – Ángulos de paso, fórmulas nomenclatura.

Al existir dispositivos de distinta tipología pero que cumplen la misma función, la mayoría de estos accesorios de centros de mecanizado tienen un poder de transmisión de 1490 a 2983 Watts, (Es común hablar de esta magnitud en Hp lo cual equivale a un rango de 2 a 4 Hp).

La potencia a transmitir P en Watts, es igual al par torsor T en Nm, por n número de rad/seg que gira el eje.

$$P = T \times n$$

Entonces el par torsor T, para 2983 Watt a 5000 rpm que son los parámetros de cálculo:

$$T = \frac{P}{n} = \frac{2983}{523} = 6.1 \text{ Nm}$$

$$W_t = \frac{T}{r_{med}} = \frac{6.1}{0.015} = 407 \text{ N}$$

$$W_a = W_t \times \tan \Phi \times \cos \alpha = 407 \times \tan 45 \times \cos 20 = 382 \text{ N}$$

$$W_r = W_t \times \tan \Phi \times \sin \alpha = 407 \times \tan 45 \times \sin 20 = 139.2 \text{ N}$$

La capacidad de transmitir potencia de los engranes se realiza en base al enfoque AGMA "American Gear Manufacturers Association" donde se utiliza la resistencia a la flexión de los dientes para calcular la capacidad de transmisión de los mismos.

Datos de los engranes:

Módulo  $m$  : 1.5

Cantidad de dientes 20.

Rpm: 5000

Material SAE 8620.

Resistencia de Fluencia 530 Mpa Tabla 3.5.

Resistencia Última 630 Mpa. Tabla 3.5.

Diámetro de paso:  $m \cdot \text{cantidad de dientes}$ :  $1.5 \cdot 20 = 30\text{mm}$ .

Ancho de la cara: 8 mm.

Velocidad en la línea de paso  $V$ :  $\frac{\pi d n}{60} = \frac{\pi 0.030 5000}{60} = 7.85 \text{ m/s}$

$Y$  factor de forma de Lewis  $Y=0.322$  Tabulado por cantidad de dientes del engrane.

Coefficiente de seguridad  $CS= 1.5$

$K_v$  Factor de velocidad dinámico, ecuación de Barth  $K_v: \frac{6.1}{6.1+V} = \frac{6.1}{6.1+7.85} = 0.437$

En base a la ecuación de Lewis:

$$\sigma = \frac{W_t}{K_v F m Y}$$

$$W_t = \sigma_{adm} K_v F m Y = 353.3 \cdot 0.437 \cdot 8 \cdot 1.5 \cdot 0.322 = 0.596 \text{ KN}$$



$$H = \frac{Wt \pi d p n}{60 \cdot 10^3} = \frac{0.596 \pi 30 \cdot 5000}{60 \cdot 10^3} = 4.1 \text{ KW}$$

La capacidad de transmitir potencia de los engranes en base a las ecuaciones empleadas es de 4.1 Kw. Verifica ampliamente la potencia que se quiere transmitir. A demás para una misma potencia a transmitir disminuyendo las rpm se incrementa el par, está verificado que se transmite sin ningún inconveniente dicho incremento.

### 3.7. Verificación de Rodamientos

#### 3.7.1. Rodamientos eje Tractor

Datos:

**Rodamiento: FAG 7602015TVP Rodamiento contacto angular para Husillo**

Capacidad de carga dinámica radial C: 12.7 KN

Capacidad de fuerza axial dinámica: 5.2 KN

Carga límite de fatiga Pu: 0.355 KN

Rpm cálculo vida útil rodamiento 5000

Velocidad límite Rpm 15000 r/min

e: 0.95

X: 0.6

Y0: 0.58

Y1: 0.66

Y2: 1.07

Fa: Carga dinámica axial aplicada al rodamiento

Fr: Carga dinámica radial aplicada al rodamiento

Fao: Carga estática axial aplicada al rodamiento

Fro: Carga estática radial aplicada al rodamiento.

Cantidad de rodamientos: 3.

Para poder determinar las cargas equivalentes que actúan sobre el rodamiento hay que realizar una composición de fuerzas en las direcciones axiales y radiales del eje tractor. Recordando de que una parte de las cargas es transmitida a través del eje tractor y otra parte a través del pin de seguridad. Como las cargas no se pueden utilizar como están determinadas teóricamente se afecta coeficientes como se ve a continuación [17] o manuales SKF:

**fk:** factor de los esfuerzos adicionales que provienen del engrane.

**fd:** factor de los esfuerzos adicionales que provienen de las máquinas acopladas.

**fk:** toma un valor de 1.1, engranajes corrientes errores de paso y perfil.

**fd:** toma un valor de 1.5, para máquinas en las cuales el rodamiento está expuesto a choques intensos.

$$\Sigma \text{ FUERZAS axiales} = 420 \times 1.1 + 383 \times 1.5 = 1051 \text{ N}$$

$$\Sigma \text{ FUERZAS radiales según y} = 280 \times 1.5 + 139 \times 1.1 = 572 \text{ N}$$

$$\Sigma \text{ FUERZAS radiales según x} = 280 \times 1.5 + 407 \times 1.1 = 868 \text{ N}$$

$$Fr = \sqrt{(\Sigma \text{Fr radiales eje y})^2 + (\Sigma \text{ radiales eje x})^2}$$

$$Fr = \sqrt{(572)^2 + (868)^2} = 1039 \text{ N}$$

$$\frac{Fa}{Fr} = \frac{1051}{1039} = 1.01$$

Para rodamientos de carga radial y axial según FAG [17]:

$$\frac{Fa}{Fr} \leq e \rightarrow P = Fr + Y1 Fa$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P = X F_r + Y_2 F_a$$

Donde P se conoce como carga dinámica equivalente.

Al ser dos rodamientos las cargas radiales y axiales están divididas en dos. Entonces se calcula la carga dinámica equivalentes y  $L_{10}$  para cada caso. Ambos son idénticos.

$$P = X F_r + Y_2 F_a = 0.6 \times 519.5 + 1.07 \times 525.5 = 874\text{N}$$

Luego la duración nominal  $L_{10}$  está dada por:

$$L_{10} = (C/P)^3 \times 10^6 / [\text{rev} \times 60]$$

$$L_{10} = (12700/874)^3 \times \frac{10^6}{[5000 \times 60]} = 11000 \text{ hs}$$

Donde  $C/P$  se conoce como seguridad de carga dinámica y en el caso de calcular  $L_{10}$  se eleva a un exponente 3 para bolas y 3.33 para rodillos.

$L_{10} = 11000$  hs. Se corresponde según el catálogo FAG con el mínimo de horas de servicio de máquinas para la industria mecánica en general.

El rodamiento seleccionado se puede utilizar.

### 3.7.2. Rodamiento eje intermedio

Datos:

**Rodamiento: SKF 6202-2Z Rodamiento rígido de bolas**

De similares características a los rodamientos anteriores.

Para poder determinar las cargas que actúan sobre el rodamiento hay que realizar una composición de fuerzas en las direcciones axiales y radiales del eje. En este caso particular del eje intermedio la componente axial se anula por tener dos componentes de igual módulo y dirección pero distinto sentido, es decir únicamente existe componente radial al eje. En el caso de aparecer por algún defecto alguna componente axial el rodamiento es capaz de absorberla.

Al no poder utilizar como está determinada teóricamente dicha componente radial se afecta por coeficientes como se ve a continuación:

$f_k$ : factor de los esfuerzos adicionales que provienen del engrane.

$f_k$ : toma un valor de 1.1, engranajes corrientes errores de paso y perfil.

$$\text{FUERZAS radiales} = 407 \times 1.1 = 448 \text{ N}$$

Para rodamientos de carga radial y axial según SKF:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$P = F_r + Y_1 F_a = 448 + 0.66 \times 0 = 448 \text{ N}$$

$$L_{10} = (C/P)^3 \times 10^6 / [\text{rev} \times 60]$$

$$L_{10} = (8600/448)^3 \times \frac{10^6}{[5000 \times 60]} = 23580 \text{ hs}$$

$L_{10} = 23580$  hs. El rodamiento verifica ampliamente la cantidad de horas.

El rodamiento seleccionado se puede utilizar.

Por cuestiones de practicidad se colocó un rodamiento de similares características a lo que se está empleando en el resto del dispositivo, ya sea por mantenimiento, compra para facilitar estos proceos. Si bien las fuerzas axiales se toman como nulas por errores de perfil montaje o lo que fuere pueden existir componentes en dicha dirección el rodamiento seleccionado absorbe ampliamente dichas componentes.

### 3.7.3. Rodamientos eje fresa

El eje porta fresa trabaja con cuatro rodamientos, tres de contacto angular pretensados y uno de agujas en el extremo donde va insertada la herramienta de corte, la disposición de dichos rodamientos puede visualizarse en la tapa móvil del plano del Anexo.

Las fuerzas empleadas en este caso se toman del punto 3.5, surgen de resolver un sistema hiperestático y son afectadas por un coeficiente de seguridad y dos de uso.

Rodamiento de agujas

Datos:

**Rodamiento: SKF NK 20/16**

Capacidad de carga dinámica C: 12 KN

Capacidad de carga estática Co: 29 KN

Carga límite de fatiga Pu: 3.35 KN

Rpm cálculo vida útil rodamiento 5000

Velocidad límite Rpm 20000 r/min

Fa: Carga dinámica axial aplicada al rodamiento

Fr: Carga dinámica radial aplicada al rodamiento

Fao: Carga estática axial aplicada al rodamiento

Fro: Carga estática radial aplicada al rodamiento.

Cantidad de rodamientos: 2.

Para poder determinar las cargas que actúan sobre el rodamiento hay que realizar una composición de fuerzas en la dirección radial del eje.

Al no poder utilizar las reacciones de apoyo como están determinadas teóricamente se afectan por coeficientes como se ve a continuación:

fk: toma un valor de 1.1, engranajes corrientes errores de paso y perfil empleado en el cálculo de las reacciones.

fd: toma un valor de 1.5, para máquinas en las cuales el rodamiento está expuesto a choques intensos.

$$\Sigma \text{FUERZAS radiales según X} = 430 \times 1.5 \times 1.1 = 709 \text{ N}$$

$$\Sigma \text{FUERZAS radiales según Y} = 610 \times 1.5 \times 1.1 = 1006 \text{ N}$$

Hipótesis de carga el rodamiento de agujas toma el 40% de las cargas radiales recientemente determinadas el otro 60% es tomado por el rodamiento de contacto angular que trabaja a la par del mismo.

$$Fr = \sqrt{(\% \Sigma Fradiales \text{ eje } y)^2 + (\% \Sigma \text{ radiales eje } x)^2}$$

$$Fr = \sqrt{(283)^2 + (402)^2} = 492 \text{ N}$$

En este caso de rodamientos de agujas la carga dinámica equivalente:

$$P = Fr$$

$$P = 448 \text{ N}$$

Luego la duración nominal  $L_{10}$  está dada por:

$$L_{10} = (C/P)^3 \times 10^6 / [\text{rev} \times 60]$$

$$L_{10} = (12000/492)^3 \times \frac{10^6}{[5000 \times 60]} = 48000 \text{ hs}$$

$L_{10} = 48000\text{hs}$ . El rodamiento verifica ampliamente la cantidad de horas para una máquina de tales características.

Rodamientos de contacto angular eje porta fresa:

Datos:

**Rodamiento: FAG 7602015TVP Rodamiento contacto angular para Husillo**

Capacidad de carga dinámica radial C: 12.7 KN

Capacidad de fuerza axial dinámica: 5.2 KN

Carga límite de fatiga Pu: 0.355 KN

Rpm cálculo vida útil rodamiento 5000

Velocidad límite Rpm 15000 r/min

X: 0.6      e=0.95

Y0: 0.58

Y1: 0.66

Y2: 1.07

Fa: Carga dinámica axial aplicada al rodamiento

Fr: Carga dinámica radial aplicada al rodamiento

Cantidad de rodamientos: 3.

En este caso se realizó una composición de cargas axiales y radiales.

En el caso de las cargas axiales aparecen dos componentes una perteneciente a los esfuerzos de corte y otra de la transmisión de potencia a través de los engranes. Las mayores cargas axiales debida a esfuerzos cortantes predominan en la operación de perforado, en el fresado se produce una gran disminución de las mismas.

Para calcular la vida útil de los rodamiento es necesario introducir la siguiente hipótesis, el 80% de la vida útil lo demanda el fresado y el otro 20% el perforado, porcentajes determinados a base de los tiempos que demanda cada operación.

Como no se puede utilizar las reacciones en los apoyos y las cargas tal como están determinadas teóricamente se afecta por coeficientes como se ve a continuación:

$f_k$ : toma un valor de 1.1, engranajes corrientes errores de paso y perfil empleado en el cálculo de las reacciones.

$f_d$ : toma un valor de 1.5, para máquinas en las cuales el rodamiento está expuesto a choques intensos.

$$\Sigma \text{ FUERZAS axiales según Y Perforado} = 382 \times 1.1 + 600 \times 1.5 = 1321 \text{ N}$$

$$\Sigma \text{ FUERZAS axiales según Y Fresado} = 382 \times 1.1 + 200 \times 1.5 = 720 \text{ N}$$

En este caso la carga dinámica equivalente axial:

$$P_{eq \text{ axial}} = \sqrt[3]{\frac{[\Sigma (P_i^3 \times n_i \times t_i)]}{[\Sigma (n_i \times t_i)]}}$$

$$P_{eq \text{ axial}} = \sqrt[3]{\frac{[(1321^3 \times 5000 \times 0.20 + 720^3 \times 5000 \times 0.80)]}{[(5000 \times 1)]}} = 912 \text{ N}$$



Las cargas Radiales:

$$\Sigma \text{FUERZAS radiales según X} = 430 \times 1.5 \times 1.1 = 709 \text{ N}$$

$$\Sigma \text{FUERZAS radiales según Y} = 610 \times 1.5 \times 1.1 = 1006 \text{ N}$$

$$Fr = \sqrt{(\% \Sigma \text{Fr radiales eje y})^2 + (\% \Sigma \text{ radiales eje x})^2}$$

$$Fr = \text{Peq radial} = \sqrt{(423)^2 + (603)^2} = 730 \text{ N}$$

$$\frac{Fa}{Fr} = \frac{912}{730} = 1.2$$

Cada rodamiento FAG contacto angular toma la mitad de la carga axial, para el caso del rodamiento que trabaja a la par del rodamiento de agujas:

$$\text{Peq Total} = X \text{ Peq radial} + Y \text{ Peq axial}$$

$$\text{Peq Total} = 0.66 \cdot 730 + 1.07 \cdot 456 = 900 \text{ N}$$

Luego la duración nominal  $L_{10}$  está dada por:

$$L_{10} = (C/P)^3 \times 10^6 / [\text{rev} \times 60]$$

$$L_{10} = (12700/900)^3 \times \frac{10^6}{[5000 \times 60]} = 9400 \text{hs}$$

El cálculo de la vida útil de los rodamientos está hecho a base de cargas dinámicas elevadas y con un coeficiente de seguridad  $C_s = 1.3$ . Por ser un accesorio y un dispositivo de uso no permanente el  $L_{10}$  hs de servicio es de 9400 hs verifica según catálogo FAG, para este tipo de máquina y 8 hs de trabajo no totalmente utilizadas es de 8000 hs.

Los rodamientos de contacto angular que trabajan en el extremo próximo al engranaje en la tapa móvil, reciben cada uno de ellos una carga dinámica equivalente determinada a continuación. Cabe aclarar que el rodamiento que se encuentra más próximo al extremo del eje cumple la función de pretensar el eje y absorbe esfuerzos radiales y axiales pero de sentido contrario al generado en el perforado por ejemplo.

$$P_{eq \text{ Total}} = X P_{eq \text{ radial}} + Y P_{eq \text{ axial}}$$

$$P_{eq \text{ Total}} = 0.66 \ 169 + 1.07 \ 456 = 600 \text{ N}$$

Luego la duración nominal  $L_{10}$  está dada por:

$$L_{10} = (C/P)^3 \times 10^6 / [\text{rev} \times 60]$$

$$L_{10} = (12700/600)^3 \times \frac{10^6}{[5000 \times 60]} = 31610 \text{hs}$$

Ambos rodamientos ubicados en el extremo del eje verifican.

### 3.8. Precarga en los Bulones

En el caso de los 6 bulones Allen que fijan la tapa móvil del cabezal es necesario determinar la precarga o fuerza sobre el bulón y un par de ajuste a suministrarle al usuario.

Para poder determinar ambos se empleó una tabla donde pueden encontrarse los valores más comunes en función de la clase de bulón, los coeficientes de rozamiento de filetes de rosca y cabeza bulón / apoyo. De no encontrarse los valores en la tabla se presenta la fórmula para poder determinarlos. [VER ANEXO TABLA COMPLETA]. En la siguiente tabla puede verse un recuadro en rojo con la combinación empleada:

A				B					
ROSCA	LLAVE	COEFICIENTE A1	FUERZA SOBRE EL BULÓN (N) (CLASE DE RESISTENCIA)			COEFICIENTE B1	CUPLA DE AJUSTE (Nm) (CLASE DE RESISTENCIA)		
			8.8	10.9	12.9		8.8	10.9	12.9
M 1,6	3,2	0,10	610	835	1005	0,10	0,11	0,21	0,25
		0,14	560	775	930	0,14	0,14	0,25	0,29
		0,16	535	750	900	0,16	0,15	0,26	0,31
M 2	4	0,10	975	1360	1632	0,10	0,30	0,44	0,53
		0,14	895	1260	1510	0,14	0,35	0,52	0,62
		0,16	860	1220	1460	0,16	0,38	0,55	0,66
M 2,2	4,5	0,10	1175	1640	1970	0,10	0,48	0,69	0,83
		0,14	1080	1520	1820	0,14	0,57	0,82	0,99
		0,16	1035	1470	1760	0,16	0,61	0,86	1,05
M 8	13	0,10	17900	25000	30000	0,10	21,50	30	36
		0,14	16500	23000	28000	0,14	25	36	43
		0,16	15900	22300	27000	0,16	27	38	46
M 10	17	0,10	28500	40000	48000	0,10	42	60	72
		0,14	26500	37000	44500	0,14	50	70	84
		0,16	25500	35500	42500	0,16	53	75	90

Tabla – 3.6 Fragmento de tabla fuerza sobre bulón y cupla de ajuste.

El coeficiente 0.10 corresponde a rosca no lubricada.

**Los valores determinados para los 6 bulones Allen M8x1.25x30 clase 8.8 con precarga de 17900 N y cupla de ajuste de 21.50 Nm.**

**Los valores determinados para los bulones Allen M4x0.7x30 clase 8.8 de la brida son precarga de 4250 N y cupla de ajuste de 3 Nm.**

### 3.9 Verificación del diámetro de los tornillos de la tapa superior de los rodamientos

A la precarga ya existente sobre los tornillos debido al ajuste se le superpone una carga fluctuante debido a los esfuerzos axiales en los procesos de corte. Dicha carga con un coeficiente de seguridad alto  $CS=2$  ronda los 1000N.

La Carga en cada uno de los 7 tornillos suponiendo una distribución homogénea está dada por la siguiente ecuación. Conocida como carga externa  $Q_e$ :

$$Q_e = \frac{1000N}{7} = 143N$$

Datos:

Rigidez del bulón  $K_b = 500594595$  N/m.

Rigidez de la junta  $K_{jt} = 1052300000$  N/m.

Diámetro parte roscada del tornillo = 4mm.

Largo parte roscada Tornillo= 4mm.

Diámetro parte no roscada del tornillo= 2mm.

$P_{aj}$ : Carga de ajuste [Tabla anexo].

$Q_c$ : Carga Crítica.

$P_{mb}$ : Carga sobre el bulón sobre traccionado,

$$Q_c = P_{aj} \left( \frac{K_b + K_{jt}}{K_{jt}} \right) = 970 \left( \frac{500594595 + 1052300000}{1052300000} \right) = 1431 \text{ N}$$

$$P_{mb} = P_{aj} + Q_e \frac{K_b}{K_b + K_{jt}} = 970 + 143 \frac{500594595}{500594595 + 1052300000} = 1016 \text{ N}$$

**El tornillo seleccionado verifica, se recomienda ajustar con una cupla de 0.30 Nm.**

#### 4. Breve análisis de los costos de producción del cabezal propuesto

Los precios y materiales a continuación vistos fueron determinados visitando los talleres especializados en la manufactura de las piezas. Los precios están puestos en dólares para poder compararlo con el precio final de adquirir un dispositivo de semejantes características ya existente en el mercado.

El ahorro de comprar el Cabezal Propuesto en este trabajo es de un 40% en Dólares. Se puede mejorar dicho ahorro si se realizan mayores lotes de producción, ya que los precios están estimados para lotes pequeños.

Items	Nombre de la Pieza	Material y Tratamiento Térmico	Costo de la pieza Lista (con material y mecanizado)
			USD
1	Eje Tractor mas Cono ISO 40	SAE 8620 Cementado	250
2	Separador Superior	Aleación AlSi9Cu3Fe	25
3	Pin de Seguridad	8620 Cementado	4
4	Traba pin de seguridad mas soporte superior Pin	8620 Cementado	10
5	Soporte Principal	Fundición Nodular 100-70-03	700
6	Tapa Fija	Aleación AlSi9Cu3Fe	250
7	Tapa Movil	Fundición Nodular 100-70-03	350
8	Eje Porta Fresa	SAE 8620 Cementado Templado y Revenido	250
9	Aro de sujeción (ROSCAS) tapa Movil	SAE 1045	40
10	Brida más medialunas	Aleación AlSi9Cu3Fe	250
11	Tuerca Collet Chuck	Comercial	15
12	Accesorios separadores Adaptadores	SAE 1045	250
13	Rodamientos (8)	FAG y SKF ver plano y memoria de cálculo	200
14	Tornillos	Comercial	5
15	Juegos de Engranés (2)	SAE 8620 Cementado	200
16	Dentado Exterior Tapa Movil mas engranaje regulación	Fundición Nodular (Tapa) SAE 1045 Engranaje	350
Precio de Venta Aproximado			3149 Más el 40% de Utilidad Sin Items 16 USD 4000

Figura 4.1 - Esquema de costos.

## 5. Conclusiones

Como conclusión del trabajo estoy satisfecho con los resultados alcanzados y los conocimientos adquiridos se logró un cabezal versátil, práctico a la hora de su utilización, que a demás se puede fabricar en un 100% con elementos locales y a aún costo razonable.

El dispositivo es algo robusto en comparación con otros utillajes que cumplen similar función, con la idea de realizar mecanizados más agresivos trabajando dentro de las tolerancias prefijadas.

Más allá de todo lo calculado y opinado por profesionales competentes en el tema se recomienda para futuros trabajos realizar un prototipo como primer medida y un análisis dinámico acabado con la idea de recaudar mayor información acerca del dispositivo.

A demás en una futura re ingeniería se recomienda probar la utilización de herramientas de corte de mayor diámetro, es decir someterlo a mayores esfuerzo.

## 6. Bibliografía

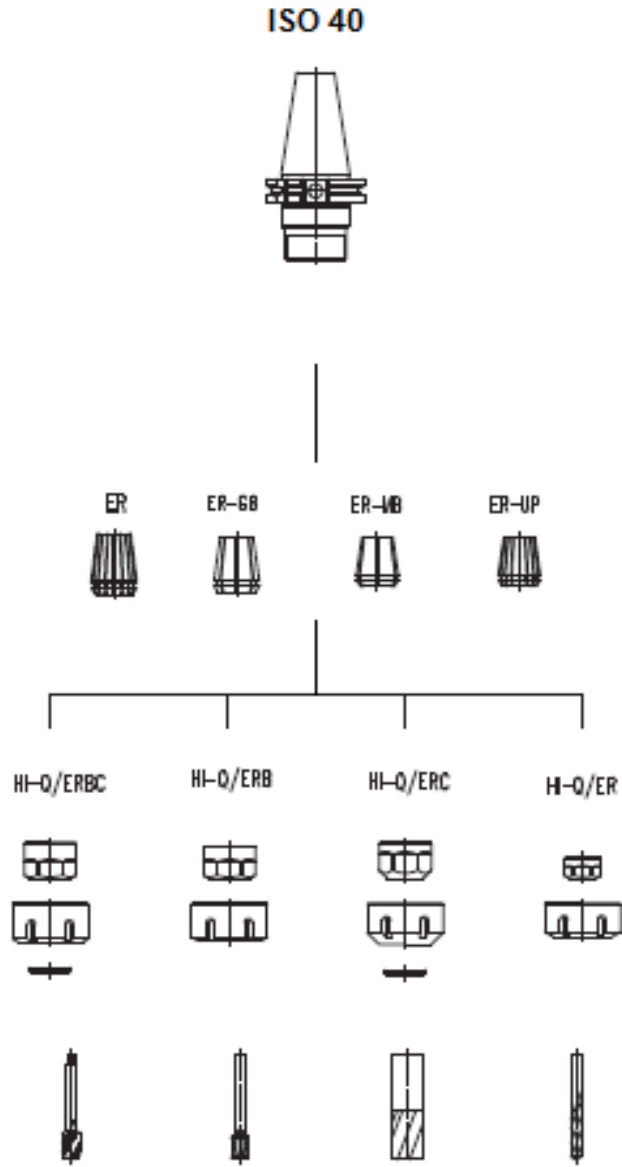
- [1] Vibraciones, Balakumar Balachandran and Edward Magrab, Thomson, 2004.
- [2] Catálogo 8070 KENNAMETAL Herramientas de Taladrado, 2006.
- [3] Catálogo 6050 KENNAMETAL Herramientas de Fresado, 2006.
- [4] Catálogos y manuales, Sandvik Coromant, Taladrado y Fresado. [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com).
- [5] Ciencia e Ingeniería de los Materiales, William D. Callister, 2004.
- [6] Normas ASME para Ejes.
- [7] A Simón, A. Bataller, otros. Fundamentos de teoría de máquinas. Bellisco Ediciones Técnicas y Científicas. 2da. Edición. Madrid, 2000. pp. 298-302.
- [8] John J. Uicker Jr, et. Al. Theory of mechanisms. Third edition, New York, 2003. Pp. 297-309.
- [9] H.H. Mabie, C. Reinholtz. Mecanismos y dinámica de maquinaria. Editorial LIMUSA, 2001.pp 297-309.
- [10] G.G. Baránov. Curso de la Teoría de Máquinas y Mecanismos. Editorial MIR, Moscú, 1979. pp.276-300.
- [11] Lista de referencia de materiales. [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com). Puede visualizarse en el anexo.
- [12] Software CATIA V5 R18, Generative Structural Analysis, Dassault Systemes.
- [13] Software CATIA V5 R18, Dassault Systemes.
- [14] Software ANSYS Structural, Swanson Analysis Systems.
- [15] Análisis Estructural Departamento de Estructuras UNC. Julio C Masa, Carlos A Prato. 2007.
- [16] Programa PORTI. Julio C. MASSA Departamento de Estructuras UNC.
- [17] Catálogo de Rodamientos de Superprecisión FAG.
- [18] <https://www.skf.com/ar/index.html>.
- [19] <https://ingemecanica.com/tutorial.pdf>
- [20] <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>. VIDEO.

## **7. ANEXOS**



## PLANO CONJUNTO

### 7.1. Programa de Herramientas



## 7.2. Programación 3+2 Postprocesador y Sondeo en la Máquina

Los proveedores CAM sobre todo los especializados en software para fabricación de moldes, suelen incluir **el mecanizado 3+2** en sus ofertas de mecanizado en 5 ejes como una característica del producto.

El mecanizado 3+2 es una técnica por medio de la cual un programa de fresado de tres ejes se ejecuta con la herramienta de corte bloqueada en una posición inclinada, de ahí su nombre 3+2, también llamado “mecanizado de 5 ejes posicional”.

Casi todos los software que ofrecen el mecanizado 3+2 enfatizan la importancia de evitar las colisiones aunque el mecanizado 3+2 simplifica los movimientos de la herramienta. Porque en si es esencialmente un mecanizado de tres ejes sin “giros ni vueltas” para maniobrar la herramienta de corte. Los usuarios deberían evaluar las formas de evitar colisiones y simular en programas del software.

La principal ventaja del mecanizado 3+2 es que permite el uso de una herramienta de corte más corta y más rígida de lo admitido por el mecanizado convencional en 3 ejes. El cabezal de husillo puede acercarse mas a la pieza de trabajo con la herramienta en “ángulo” permitiendo mayores avances y velocidades con menor deflexión y menores vibraciones, esto significa que pueden lograrse un buen acabado superficial y resultados dimensionales más precisos en un tiempo de ciclo más corto. Otros beneficios incluyen movimientos más breves de la herramienta, menos líneas del código de programa y menos alistamientos de la máquina.

Los programas CAD-CAM, tienen una parte para crear el diseño (CAD) y otra parte para efectuar las opciones del mecanizado (CAM) desplazamientos de los ejes velocidades, etc, que luego deben ser traducidas a Código G para que puedan ser interpretados por las máquinas CNC.

La secuencia a saber es, a partir de las operaciones CAM y datos suministrados por el programador dan como resultado el programa de la pieza en un lenguaje de intercambio llamado APT que luego será traducido mediante un **Postprocesador** apropiado en código G.

El Código G es un lenguaje universal para todas las maquinas CNC, pero como cada fabricante modifica este lenguaje **G-code** a su antojo, hace falta un post procesador diferente para cada máquina CNC.

Los programas CAD-CAM suelen venir con muchos postprocesadores para todo tipo de marcas y modelos, pero en muchas ocasiones crean un Código G que no funciona correctamente o no como nosotros queremos:

En estos casos, tenemos opciones:

1. Acostumbrarnos a modificar ese Código G cada vez que creamos un archivo, con el correspondiente tiempo que eso conlleva.
2. Modificar el postprocesador para que genere el Código G que nosotros queremos. Esta sería la opción ideal.
3. O muchos casos muchos emplean un postprocesador externo no propio del CAM.

Se escogerá la mejor solución en función de la conveniencia de acuerdo al problema.

La programación paramétrica para el sondeo en la máquina, permite realizar mediciones en proceso y a su vez facilita la integración de los cabezales angulares. El sondeo en la máquina no toma el lugar de las mediciones finales. Es usado para determinar la estabilidad del proceso de mecanizado, esto da al taller la confianza para comenzar el mecanizado de la siguiente parte de la corrida tan pronto como se completa la parte previa.

Una vez ese ciclo se completa, las rutinas de sondeo generadas miden las características clave para determinar si han sido mecanizadas las piezas en la tolerancia correspondiente. Si así ha sido, se llama el segundo programa y el segundo ciclo de mecanizado se completa de forma desatendida.

## Trasmisión de potencia mediante ejes

**EL DISEÑO DE EJES** consiste básicamente en la determinación del diámetro correcto del eje para asegurar rigidez y resistencia satisfactorias cuando el eje transmite potencia en diferentes condiciones de carga y operación. Generalmente los ejes tienen sección transversal circular y pueden ser huecos o macizos.

**EL DISEÑO DE EJES DE MATERIALES DUCTILES**, basado en su resistencia, está controlado por la teoría del esfuerzo cortante máximo. La presentación siguiente se basa en ejes de material dúctil y sección transversal circular. Los ejes de materiales frágiles deben diseñarse en base a la teoría del esfuerzo normal máximo. Generalmente los ejes están sometidos a torsión, flexión y cargas axiales. Para cargas torsionales, el esfuerzo de torsión

$\tau_{xy}$  es

$$\tau_{xy} = M_t r / J = 16 M_t / \pi d^3 \quad \text{para ejes macizos}$$

$$\tau_{xy} = 16 M_t d_o / \pi (d_o^4 - d_i^4) \quad \text{para ejes huecos}$$

Para cargas de flexión, el esfuerzo de flexión  $s_b$  (tracción o compresión) es

$$s_b = M_b r / I = 32 M_b / \pi d^3 \quad \text{para ejes macizos}$$

$$s_b = 32 M_b d_o / \pi (d_o^4 - d_i^4) \quad \text{para ejes huecos}$$

Para cargas axiales, el esfuerzo de compresión o tracción  $s_a$  es

$$s_a = 4 F_a / \pi d^2 \quad \text{para ejes macizos}$$

$$s_a = 4 F_a / \pi (d_o^2 - d_i^2) \quad \text{para ejes huecos}$$

La ecuación del código ASME para un eje hueco combina torsión, flexión y carga axial, aplicando la ecuación del esfuerzo cortante máximo modificada mediante la introducción de factores de choque, fatiga y columna:

$$d_o^3 = \frac{16}{\pi s_s (1 - K^4)} \sqrt{\left[ K_b M_b + \frac{\alpha F_a d_o (1 + K^2)}{8} \right]^2 + (K_t M_t)^2}$$

Para un eje macizo con carga axial pequeña o nula, se reduce a

$$d^3 = \frac{16}{\pi s_s} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}$$

en la cual, en la sección en consideración,

$\tau_{xy}$  = esfuerzo cortante de torsión, psi

$M_t$  = momento de torsión, lb-pul

$M_b$  = momento de flexión, lb-pul

$d_o$  = diámetro exterior del eje, pul

$d_i$  = diámetro interior del eje, pul

$F_a$  = carga axial, lb

$$K = d_i / d_o$$

$K_b$  = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector

$K_t$  = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión

**Para ejes estacionarios:**

	$K_b$	$K_t$
Carga aplicada gradualmente	1,0	1,0
Carga aplicada repentinamente	1,5 a 2,0	1,5 a 2,0

**Para ejes en rotación:**

	$K_b$	$K_t$
Carga aplicada gradualmente	1,5	1,0
Carga repentina (choque menor)	1,5 a 2,0	1,0 a 1,5
Carga repentina (choque fuerte)	2,0 a 3,0	1,5 a 3,0

$s_b$  = esfuerzo de flexión (tensión o compresión), psi

$s_a$  = esfuerzo axial (tensión o compresión), psi

El código ASME especifica para ejes de acero comercial

$s_s$ (permisible) = 8000 psi para ejes sin cuñero

$s_s$ (permisible) = 6000 psi para ejes con cuñero

El código ASME especifica para ejes de acero comprados con especificaciones definidas

$s_s$ (permisible) = 30% del límite elástico sin sobrepasar del 18% del esfuerzo último en tracción, para ejes sin cuñero. Estos valores deben reducirse en 25% si existen cuñeros.

$\alpha$  = factor de acción de columna. El factor de acción de columna es la unidad para cargas de tracción. Para compresión,  $\alpha$  puede calcularse mediante:

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0,0044(L/k)} \quad \text{para } L/K < 115$$

$$\alpha = \frac{s_y}{\pi^2 n E} \left(\frac{L}{k}\right)^2 \quad \text{para } L/K > 115$$

$n$  = 1 para extremos articulados

$n$  = 2,25 para extremos fijos

$n$  = 1,6 para extremos restringidos parcialmente, como en el caso de cojinetes

$k$  = radio de giro =  $\sqrt{I/A}$  pul

$I$  = momento rectangular de inercia, pul<sup>4</sup>

$A$  = área de la sección transversal del eje, pul<sup>2</sup>

$s_y$  = esfuerzo de fluencia en compresión, psi

**EL DISEÑO DE EJES POR RIGIDEZ TORSIONAL** se basa en el ángulo de giro permisible. La cantidad permisible de giro depende de la aplicación particular, y varía desde 0,08 grados por pie para ejes de máquinas herramientas hasta 1,0 grados por pie para ejes de transmisión.

$$\theta = 584 M_t L / G(d_o^4 - d_i^4) \quad \text{para un eje circular hueco}$$

$$\theta = 584 M_t L / G d^4 \quad \text{para un eje circular macizo}$$

donde

$\theta$  = ángulo de giro, grados

$L$  = longitud del eje, pul

$M_t$  = momento de torsión, lb-pul

$G$  = módulo de elasticidad en torsión, psi

$d$  = diámetro del eje, pul

## 7.4. TABLAS PARA DETERMINAR LA FUERZA SOBRE EL BULÓN, Y LA CUPLA DE AJUSTE, EN FUNCIÓN DE LA CLASE DE RESISTENCIA Y LOS COEFICIENTES DE ROZAMIENTO

### (PARTE 1)

La tabla A, permite obtener el valor de tensión óptima sobre el bulón, como porcentual del límite de fluencia y en función del coeficiente de rozamiento del filete de rosca (A1). Conociendo la precarga deseada, de la tabla A, se podrá seleccionar el bulón de tamaño y clase más conveniente.

La tabla B, indica el valor de cupla necesario para alcanzar el 90% del límite de fluencia sobre el bulón ya definido por tabla A, en función del coeficiente de rozamiento en el apoyo de la cabeza del bulón, y sin considerar el coeficiente de rozamiento de los filetes de rosca.

EJEMPLO: BULÓN M10, CLASE 8.8

TENSIÓN DE ROTURA =  $8 \times 10 = 80$  [kg/mm<sup>2</sup>] Y TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA =  $8 \times 80 = 64$  [kg/mm<sup>2</sup>]

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO EN EL FILETE = 0,10

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO EN EL APOYO DE LA CABEZA = 0,14

LA PRECARGA ÓPTIMA SEGÚN TABLA A, SE ESTIMA EN: 28 500 [N]

LA CUPLA DE AJUSTE, SEGÚN TABLA B, SE ESTIMA EN: 50 [Nm]

PARA BULONES QUE NO FIGURAN EN TABLA, PUEDE UTILIZARSE LA FÓRMULA:

$$M = \frac{F \times D}{5300}$$

M = CUPLA DE AJUSTE [Nm]  
 F = CARGA DE TRACCIÓN [N]  
 D = DIÁMETRO DEL BULÓN [mm]

A				B					
ROSCA	LLAVE	COEFICIENTE A1	FUERZA SOBRE EL BULÓN [N] (CLASE DE RESISTENCIA)			COEFICIENTE B1	CUPLA DE AJUSTE [Nm] (CLASE DE RESISTENCIA)		
			8.8	10.9	12.9		8.8	10.9	12.9
M 1,6	3,2	0,10	610	835	1005	0,10	0,11	0,21	0,25
		0,14	560	775	930	0,14	0,14	0,25	0,29
		0,16	535	750	900	0,16	0,15	0,26	0,31
M 2	4	0,10	975	1360	1632	0,10	0,30	0,44	0,53
		0,14	895	1260	1510	0,14	0,35	0,52	0,62
		0,16	860	1220	1460	0,16	0,38	0,55	0,66
M 2,2	4,5	0,10	1175	1640	1970	0,10	0,48	0,69	0,83
		0,14	1080	1520	1820	0,14	0,57	0,82	0,99
		0,16	1035	1470	1760	0,16	0,61	0,86	1,05
M 2,5	5	0,10	1610	2245	2690	0,10	0,64	0,90	1,05
		0,14	1475	2080	2490	0,14	0,76	1,07	1,25
		0,16	1420	2010	2400	0,16	0,81	1,12	1,34
M 3	5,5	0,10	2380	3320	3980	0,10	1,10	1,55	1,87
		0,14	2180	3070	3680	0,14	1,31	1,84	2,22
		0,16	2100	2970	3560	0,16	1,40	1,92	2,37
M 3,5	6	0,10	3200	4470	5360	0,10	1,70	2,40	2,90
		0,14	2930	4140	4960	0,14	2,10	2,85	3,45
		0,16	2830	4000	4800	0,16	2,17	2,98	3,68
M 4	7	0,10	4250	5900	7100	0,10	2,60	3,70	4,40
		0,14	3900	5500	6600	0,14	3,10	4,40	5,20
		0,16	3750	5300	6300	0,16	3,30	4,60	5,60
M 5	8	0,10	6900	9700	11700	0,10	5,30	7,50	8,90
		0,14	6400	9000	10800	0,14	6,20	8,70	10,50
		0,16	6100	8600	10300	0,16	6,70	9,40	11,30
M 6	10	0,10	9700	13700	16400	0,10	8,90	12,50	15
		0,14	9000	12700	15200	0,14	10,50	15	17,50
		0,16	8600	12100	14600	0,16	11,20	16	19
M 7	11	0,10	14400	20200	24200	0,10	13	19	23
		0,14	13200	18500	22000	0,14	16	23	28
		0,16	12600	17800	21300	0,16	18	25	30
M 8	13	0,10	17900	25000	30000	0,10	21,50	30	36
		0,14	16500	23800	28000	0,14	25	36	43
		0,16	15900	22300	27000	0,16	27	38	46
M 10	17	0,10	28500	40000	48000	0,10	42	60	72
		0,14	26500	37000	44500	0,14	50	70	84
		0,16	25500	35500	42500	0,16	53	75	90

## (PARTE 2)

A						B			
ROSCA	LLAVE	COEFICIENTE A1	FUERZA SOBRE EL BULÓN [N] (CLASE DE RESISTENCIA)			COEFICIENTE B1	CUPLA DE AJUSTE [Nm] (CLASE DE RESISTENCIA)		
			8.8	10.9	12.9		8.8	10.9	12.9
M 12	19	0,10	41500	58000	70000	0,10	74	104	124
		0,14	38500	54000	65000	0,14	86	121	145
		0,16	37000	52000	62000	0,16	93	130	155
M 14	22	0,10	57000	80000	96000	0,10	117	165	195
		0,14	53000	74000	89000	0,14	135	195	230
		0,16	50000	71000	85000	0,16	145	205	250
M 16	24	0,10	78000	110000	132000	0,10	180	260	310
		0,14	73000	102000	123000	0,14	215	300	360
		0,16	70000	98000	118000	0,16	230	320	390
M 18	27	0,10	95000	134000	160000	0,10	250	350	420
		0,14	88000	124000	148000	0,14	290	410	490
		0,16	84000	119000	142000	0,16	310	440	530
M 20	30	0,10	122000	172000	207000	0,10	350	500	600
		0,14	113000	160000	192000	0,14	410	580	700
		0,16	109000	153000	184000	0,16	440	630	750
M 22	32	0,10	153000	215000	260000	0,10	480	680	810
		0,14	142000	199000	239000	0,14	560	790	950
		0,16	136000	191000	230000	0,16	600	850	1020
M 24	36	0,10	176000	248000	300000	0,10	610	860	1030
		0,14	164000	230000	275000	0,14	710	1000	1200
		0,16	157000	221000	265000	0,16	770	1080	1300
M 27	41	0,10	232000	325000	390000	0,10	890	1250	1500
		0,14	215000	300000	365000	0,14	1050	1450	1750
		0,16	206000	290000	350000	0,16	1130	1600	1900
M 30	46	0,10	280000	395000	475000	0,10	1210	1700	2050
		0,14	260000	370000	440000	0,14	1400	2000	2400
		0,16	250000	355000	425000	0,16	1550	2150	2600
M 33	50	0,10	345000	486000	583000	0,10	1500	2200	2600
		0,14	322000	458000	550000	0,14	1800	2550	3050
		0,16	310000	444000	533000	0,16	1950	2750	3300
M 36	55	0,10	405000	572000	686000	0,10	2000	2800	3350
		0,14	379000	539000	646000	0,14	2300	3300	3950
		0,16	366000	523000	627000	0,16	2600	3350	4250
M 39	60	0,10	484000	683000	820000	0,10	2600	3650	4300
		0,14	452000	644000	772000	0,14	3000	4250	5100
		0,16	437000	624000	745000	0,16	3350	4600	5450

Ambas tablas son extraídas de la materia Mecanismos y Elementos de máquina FCEFYN.



## 7.5. Listas Sandvik de equivalencias ACEROS

ISO	MC	CMC	País									
			Europa	Alemania	Reino Unido	Suecia	EE.UU.	Francia	Italia	España	Japón	
			Estándar	DIN EN	N.º W.	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE
<b>P</b>	<b>Acero no aleado</b>											
	P1.1.ZAN	01.1	S235JR G2	1.0038	4360 40 C	-	1311	A570.36	E 24-2 Ne	-	-	STKM 12A C
	P1.1.ZAN	01.1	S235J2 G3	1.0116	4360 40 B	-	1312	A573-81 65	E 24-U	Fe37-3	F.111	-
	P1.1.ZAN	01.1	C15	1.0401	080M15	-	1350	1015	CC12	C15C16	F.112	-
	P1.1.ZAN	01.1	C22	1.0402	050A20	2C/2D	1450	1020	CC20	C20C21	-	-
	P1.1.ZAN	01.1	C15E	1.1141	080M15	32C	1370	1015	XC12	C16	C15K	S15C
	P1.1.ZAN	01.1	C25E	1.1158	-	-	-	1025	-	-	-	S25C
	P1.1.ZAN	01.1	S380N	1.8900	4360 55 E	-	2145	A572-60	-	Fe390WG	-	-
	P1.1.ZAN	01.1	17MnV7	1.0870	4360 55 E	-	2142	A572-60	NRA 35-501 E 36	-	-	-
	P1.1.ZAN	02.1	55Si7	1.0904	250A53	45	2085	9255	55S7	55Si8	56Si7	-
	P1.2.ZAN	01.2	C35	1.0501	080A35	-	1550	1035	CC35	C35	F.113	-
	P1.2.ZAN	01.2	C45	1.0503	080M46	-	1650	1045	CC45	C45	F.114	-
	P1.2.ZAN	01.2	40Mn4	1.1157	150M36	15	-	1039	35M5	-	-	-
	P1.2.ZAN	01.2	36Mn5	1.1167	-	-	2120	1335	40M5	-	36M5	SMn438(H)
	P1.2.ZAN	01.2	28Mn6	1.1170	150M28	14A	-	1330	20M5	C28Mn	-	SCMn1
	P1.2.ZAN	01.2	C35G	1.1183	060A35	-	1572	1035	XC38TS	C36	-	S35C
	P1.2.ZAN	01.2	C45E	1.1191	080M46	-	1672	1045	XC42	C45	C45K	S45C
	P1.2.ZAN	01.2	C53G	1.1213	060A52	-	1674	1050	XC48TS	C53	-	S50C
	P1.2.ZAN	01.3	C55	1.0535	070M55	-	1655	1055	-	C55	-	-
	P1.2.ZAN	01.3	C55E	1.1203	070M55	-	-	1055	XC55	C50	C55K	S55C
	P1.2.ZAN	02.1	S275J2G3	1.0144	4360 43C	-	1412	A573-81	E 28-3	-	-	SM 400A;B;C
	P1.2.ZAN	02.1	S355J2G3+C2	1.0570	4360 50B	-	2132	-	E36-3	Fe52BfN/Fe52CRN	-	SM490A;B;C;YA;YB
	P1.2.ZAN	02.1	S355J2G3	1.0841	150 M 19	-	2172	5120	20 MC 5	Fe52	F-431	-
	P1.3.ZAN	01.3	C60E	1.0601	080A62	43D	-	1060	CC55	C60	-	-
	P1.3.ZAN	01.3	C60E	1.1221	080A62	43D	1678	1060	XC60	C60	-	S58C
	P1.3.ZAN	01.4	C101E	1.1274	060 A 96	-	1870	1095	XC 100	-	F-5117	-
	P1.3.ZAN	01.4	C101u	1.1545	9W 1A	-	1880	W 1	Y105	C36KU	F-5118	SK 3
	P1.3.ZAN	01.4	C105W1	-	BW2	-	2900	W210	Y120	C120KU	F-5115	SUP4
	P1.3.ZAN	02.1	S340 MGC	1.0961	-	-	-	9262	60SC7	60SiCr8	-	60SiCr8
	P1.4.ZAN	01.1	11SMn30	1.0715	230M07	-	1912	1213	S250	CF9SMn28	11SMn28	SUM22
	P1.4.ZAN	01.1	11SMnPb30	1.0718	-	-	1914	12L13	S250Pb	CF9SMnPb28	11SMnPb28	SUM22L
	P1.4.ZAN	01.1	10SPb20	1.0722	-	-	-	-	10PbF2	CF10SPb20	10SPb20	-
	P1.4.ZAN	01.1	11SMn37	1.0736	240M07	1B	-	1215	S 300	CF9SMn36	12SMn35	-
	P1.4.ZAN	01.1	11SMnPb37	1.0737	-	-	1926	12L14	S300Pb	CF9SMnPb36	12SMnP35	-
	P1.4.ZAN	01.2	35S20	1.0726	212M36	8M	1957	1140	35MF4	-	F210G	-
	P1.5.C.UT	01.1	GC16E	1.1142	030A04	1A	1325	1115	-	-	-	-
<b>Acero</b>	<b>Acero de baja aleación</b>											
	P2.1.ZAN	02.1	16Mo3	1.5415	1501-240	-	2912	A204GrA	1503	16Mo3KW	16Mo3	-
	P2.1.ZAN	02.1	14N6	1.5622	-	-	-	A350LP5	16N6	14N6	15N6	-
	P2.1.ZAN	02.1	21NiCrMo2	1.6523	805M20	362	2506	8620	20NC02	20NiCrMo2	20NiCrMo2	SNCM220(H)
	P2.1.ZAN	02.1	17CrNiMo6	1.6587	820A16	-	-	-	18NC06	14NiCrMo13	-	-
	P2.1.ZAN	02.1	15Cr3	1.7015	523M15	-	-	5015	12C3	-	-	SCr415(H)
	P2.1.ZAN	02.1	55Cr3	1.7176	527A60	48	-	5155	55C3	-	-	SUP9(A)
	P2.1.ZAN	02.1	15CrMo5	1.7262	-	-	2216	-	12CD4	-	12CrMo4	SCM415(H)
	P2.1.ZAN	02.1	13CrMo4-5	1.7335	1501-620Gr27	-	-	A182 F11;F12	15CD3.5	14CrMo4 5	14CrMo45	-
	P2.1.ZAN	02.1	10CrMo9 10	1.7380	1501-622 Gr.31;45	-	2218	A182 F22	15CD4.5	12CrMo9, 10	TU.H	-
	P2.1.ZAN	02.1	14MoV6 3	1.7715	1503-660-440	-	-	-	12CD9, 10	-	13MoCrV6	-
	P2.1.ZAN	02.1	50CrMo4	1.7228	823M30	33	2512	-	-	653M31	-	-
	P2.1.ZAN	02.2	14NiCr10	1.5732	-	-	-	3415	14NC11	16NiCr11	15NiCr11	SNC415(H)
	P2.1.ZAN	02.2	14NiCr14	1.5752	655M13; A12 36A	-	-	3415;3310	12NC15	-	-	SNCR15(H)
	P2.1.ZAN	02.1/02.2	16MnCr5	1.7131	(527M20)	-	2511	5115	16MC5	16MnCr5	16MnCr5	-
	P2.1.ZAN	02.1/02.2	34CrMo4	1.7220	708A37	19B	2234	4137;4135	35CD4	35CrMo4	34CrMo4	SCM32;SCCRM3
	P2.1.ZAN	02.1/02.2	41CrMo4	1.7223	708M40	19A	2244	4140;4142	42CD4TS	41CrMo4	42CrMo4	SCM 440
	P2.1.ZAN	02.1/02.2	42CrMo4	1.7225	708M40	19A	2244	4140	42CD4	42CrMo4	42CrMo4	SCM440(H)
	P2.1.ZAN	03.11	14NiCrMo134	1.6657	832M13	36C	-	-	-	15NiCrMo13	14NiCrMo131	-
	P2.2.ZAN	02.1	31CrMo12	1.8515	722 M 24	-	2240	-	30 CD 12	30CrMo12	F-1712	-
	P2.2.ZAN	02.1	39CrMoV13 9	1.8523	897M39	40C	-	-	-	36CrMoV12	-	-
	P2.2.ZAN	02.1	41CrS4	1.7039	524A14	-	2092	L1	-	105WCr 5	-	-
	P2.2.ZAN	02.1	50NiCr13	1.2721	-	-	2550	L6	55NCV6	-	F-528	-
	P2.2.ZAN	03.11	45WCrV7	1.2542	BS1	-	2710	S1	-	45WCrV8KU	45WCrS8	-
	P2.2.ZAN/P2.5.Z.HT	02.1/02.2	36CrNiMo4	1.6511	816M40	110	-	9840	40NC03	38NiCrMo4(KB)	35NiCrMo4	-
	P2.2.ZAN/P2.5.Z.HT	02.1/02.2	34CrNiMo6	1.6582	817M40	24	2541	4340	35NC06	35NiCrMo6(KB)	-	-
	P2.2.ZAN/P2.5.Z.HT	02.1/02.2	34Cr4	1.7033	530A32	18B	-	5132	32C4	34Cr4(KB)	35Cr4	SCr430(H)
	P2.2.ZAN/P2.5.Z.HT	02.1/02.2	41Cr4	1.7035	530A40	18	-	5140	42C4	41Cr4	42Cr4	SCr440(H)
	P2.2.ZAN/P2.5.Z.HT	02.1/02.2	32CrMo12	1.7361	722M24	40B	2240	-	30CD12	32CrMo12	F.124.A	-
	P2.2.ZAN/P2.5.Z.HT	02.1/02.2	51CrV4	1.8159	735A50	47	2230	6150	50CV4	50CrV4	51CrV4	SUP10
	P2.2.ZAN/P2.5.Z.HT	02.1/02.2	41CrAlMo7	1.8509	905M39	41B	2940	-	40CAD6, 12	41CrAlMo7	41CrAlMo7	-
	P2.3.ZAN	02.1	100Cr6	1.3505	534A99	31	2258	52100	100C6	100Cr6	F.131	SUJ2
	P2.3.ZAN/H1.2.Z.HA	02.1/02.2	105WCr6	1.2419	-	-	2140	-	105WC13	10WCr6	105WCr6	SKS31
	P2.3.ZAN/H1.2.Z.HA	02.1/02.2	-	-	-	-	-	L6	55NC0V7	107WCr5KU	F.520.S	SKS2, SKS3
	P2.3.ZAN/H1.3.Z.HA	02.1/02.2	100Cr6	1.2067	BL3	-	-	L3	Y100C6	-	100Cr6	SKT4

## 7.5.1 Equivalencias FUNDICIONES

ISO	MC	CMC	País											
			Europa	Alemania	Reino Unido	Suecia	EE.UU.	Francia	Italia	España	Japón			
			Estándar											
			DIN EN	N.º W.	BS	EN	SS	AS/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS		
K	<b>Fundición maleable</b>													
	K1.1.C.NS	07.1	-										FCMB310	
	K1.1.C.NS	07.1	EN-GJM350-10	0.8136		B 290/6	0814						FCMW330	
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJM450-6	0.8145		B 340/12	0815	32510	40010				FCMW370	
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJM550-4	0.8155		P 440/7	0852	50005		GWN 45			FCMP490	
						P 510/4	0854	70003		GWN 55			FCMP540	
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJM650-2	0.8165		P 570/3	0858						FCMP590	
	K1.1.C.NS	07.3	EN-GJM700-2	0.8170		P570/3	0856	A220-70003		GWN 65			FCMP690	
						P690/2	0862	A220-80002		GWN 70				
	<b>Fundición gris</b>													
	K2.1.C.IT	08.1						0100						
	K2.1.C.IT	08.1	EN-GJL-100	0.6010				0110	No 20 B	R 10 D				FC100
	K2.1.C.IT	08.1	EN-GJL-150	0.6015		Grade 150		0115	No 25 B	R 15 D	G 15	FG 15		FC150
	K2.1.C.IT	08.1	EN-GJL-200	0.6020		Grade 220		0120	No 30 B	R 20 D	G 20			FC200
	K2.1.C.IT	08.2	EN-GJL-250	0.6025		Grade 260		0125	No 35 B	R 25 D	G 25	FG 25		FC250
	K2.1.C.IT	08.2	EN-JLZ	0.6040		Grade 400		0140	No 55 B	R 40 D				
	K2.2.C.IT	08.2	EN-GJL-300	0.6030		Grade 300		0130	No 45 B	R 30 D	G 30	FG 30		FC300
	K2.2.C.IT	08.2	EN-GJL-350	0.6035		Grade 350		0135	No 50 B	R 35 D	G 35	FG 35		FC350
	K2.3.C.IT	08.3	GGL-NCr202	0.6660		L-NCuCr202		0523	A436 Type 2	LNC 202	-	-		
	<b>Fundición nodular</b>													
	K3.1.C.IT	09.1	EN-GJS-400-15	0.7040		SNC 420/12		0717-02	60-40-18	FCS 400-12	GS 370-17	FGE 38-17		FCD400
	K3.1.C.IT	09.1	EN-GJS-400-18LT	0.7043		SNC 370/17		0717-12	-	FCS 370-17				
	K3.1.C.IT	09.1	EN-GJS-350-22LT	0.7033		-		0717-15	-	-				
	K3.1.C.IT	09.1	EN-GJS-800-7	0.7050		SNC 500/7		0727	80-55-06	FCS 500-7	GS 500	FGE 50-7		FCD500
	K3.2.C.IT	09.2	EN-GJS-600-3	0.7060		SNC 600/3		0732-03	-	FCS 600-3				FCD600
	K3.3.C.IT	09.2	EN-GJS-700-2	0.7070		SNC 700/2		0737-01	100-70-03	FCS 700-2	GS 700-2	FCS 70-2		FCD700
	K3.5.C.IT	-	EN-GJSA3NCr202	0.7660		Grade S6		0776	A4302	SNC 202	-	-		
	<b>Fundición de grafito compactado</b>													
K4.1.C.IT	-	EN-GN-300												
K4.1.C.IT	-	EN-GN-350												
K4.2.C.IT	-	EN-GN-400												
K4.2.C.IT	-	EN-GN-450												
K4.2.C.IT	-	EN-GN-500												
<b>Fundición dúctil austemperizada</b>														
K5.1.C.NS	-	EN-GJS-800-8						ASTM A897 No. 1						
K5.1.C.NS	-	EN-GJS-1000-5						ASTM A897 No. 2						
K5.2.C.NS	-	EN-GJS-1200-2						ASTM A897 No. 3						
K5.2.C.NS	-	EN-GJS-1400-1						ASTM A897 No. 4						
K5.3.C.NS	-							ASTM A897 No. 5						